

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITE DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international(43) Date de la publication internationale  
8 juillet 2004 (08.07.2004)

PCT

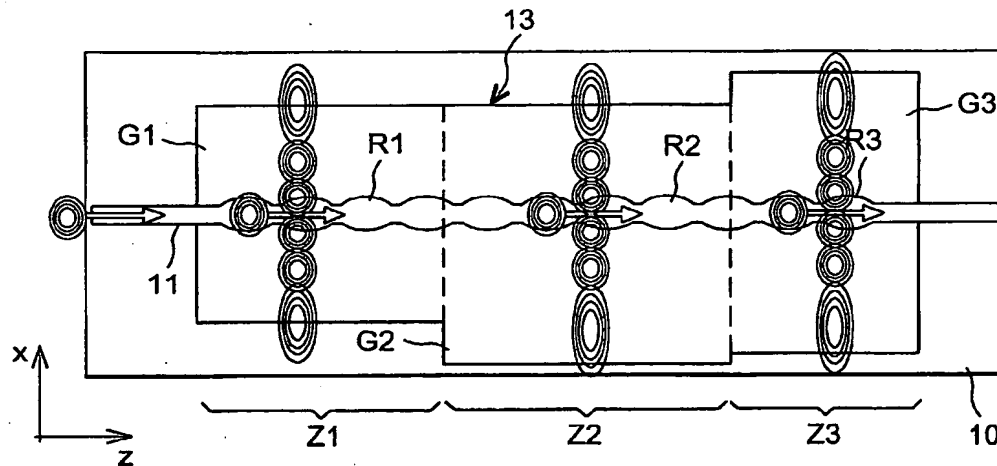
(10) Numéro de publication internationale  
WO 2004/057388 A2

- (51) Classification internationale des brevets<sup>7</sup> : G02B 6/12 (72) Inventeur; et  
(21) Numéro de la demande internationale : PCT/FR2003/050175 (75) Inventeur/Déposant (pour US seulement) : MARTINEZ, Christophe [FR/FR]; 5, rue André Maginot, F-38000 GRENOBLE (FR).  
(22) Date de dépôt international : 15 décembre 2003 (15.12.2003) (74) Mandataire : POULIN, Gérard; c/o BREVALEX, 3 rue du Docteur Lancereaux, F-75008 PARIS (FR).  
(25) Langue de dépôt : français (81) État désigné (national) : US.  
(26) Langue de publication : français (84) États désignés (régional) : brevet européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).  
(30) Données relatives à la priorité : 02 15919 16 décembre 2002 (16.12.2002) FR  
(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : TEEM PHOTONICS [FR/FR]; Miniparc la Taillat, 61 chemin du Vieux Chêne, ZIRST, F-38240 MEYLAN (FR). Publiée :  
— sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: INTEGRATED OPTICS FILTERING COMPONENT COMPRISING AN OPTICAL CLADDING AND METHOD FOR MAKING SAME

(54) Titre : COMPOSANT DE FILTRAGE EN OPTIQUE INTEGREE COMPRENANT UNE GAINÉ OPTIQUE AINSI QUE SON PROCEDE DE REALISATION



(57) Abstract: The invention concerns an integrated optics filtering component comprising in a substrate (10) at least one filtering assembly including an optical guide core (11), an optical cladding (13) independent of the core and at least two elementary interaction zones in series (Z1, Z2, Z3), each elementary interaction zone having at least one structural parameter different from that or those whereto it is adjacent, each elementary interaction zone being defined by one substrate zone including an elementary grating (R1, R2, R3), at least one portion of the cladding called elementary cladding (G1, G2, G3) enclosing at least one core portion, called elementary core, the refractive index of each elementary cladding being different from the substrate refractive index and lower than the core refractive index, the different elementary gratings of a filtering assembly forming one grating.

(57) Abrégé : L'invention concerne un composant de filtrage en optique intégrée comportant dans un substrat (10) au moins un ensemble de filtrage comprenant un cœur de guide optique (11), une gaine optique (13) indépendante du cœur et au moins deux zones d'interaction élémentaires en série (Z1,

[Suite sur la page suivante]



*En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.*

Z2, Z3), chaque zone d'interaction élémentaire présentant au moins un paramètre structurel différent de celui ou de ceux auxquels elle est adjacente, chaque zone d'interaction élémentaire étant définie par une zone du substrat comportant un réseau élémentaire (R<sub>i</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub>), au moins une portion de la gaine dite gaine élémentaire (G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>, G<sub>3</sub>) entourant au moins une portion du cœur, dite caquer élémentaire, l'indice de réfraction de chaque gaine élémentaire étant différent de l'indice de réfraction du substrat et inférieur à l'indice de réfraction du cœur au moins dans la partie de la gaine élémentaire voisine du cœur élémentaire, les différents réseaux élémentaires d'un ensemble de filtrage formant un réseau.

COMPOSANT DE FILTRAGE EN OPTIQUE INTEGREE COMPRENANT  
UNE GAINÉ OPTIQUE AINSI QUE SON PROCEDE DE REALISATION

DESCRIPTION

5   DOMAINE TECHNIQUE

La présente invention concerne un composant de filtrage en optique intégrée comprenant une gainé optique ainsi que son procédé de réalisation.

10   L'invention trouve des applications dans tous les domaines nécessitant un filtrage spectral et notamment un filtrage de réponse spectrale évoluée. Elle s'applique en particulier à la réalisation d'aplatisseurs de gain pour les amplificateurs optiques utilisés par exemple dans le domaine des  
15   télécommunications ou encore à la réalisation de filtres de réponse linéaire avec la longueur d'onde sur une bande spectrale définie pour la reconnaissance spectrale notamment pour mesurer des décalages spectraux à partir de variation de puissance par  
20   exemple dans le domaine des capteurs.

D'une manière générale, l'invention s'applique particulièrement bien à tous les systèmes nécessitant l'emploi d'un filtrage de réponse spectrale adapté à un besoin déterminé, ce type de filtrage  
25   nécessitant généralement le développement d'un filtre évolué.

ETAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE

Il existe actuellement plusieurs solutions  
30   de filtrage évolué en optique guidée. Ces solutions

**COMPOSANT DE FILTRAGE EN OPTIQUE INTEGREE COMPRENANT  
UNE GAINÉ OPTIQUE AINSI QUE SON PROCEDE DE REALISATION**

**DESCRIPTION**

**5    DOMAINE TECHNIQUE**

La présente invention concerne un composant de filtrage en optique intégrée comprenant une gainé optique ainsi que son procédé de réalisation.

L'invention trouve des applications dans  
10 tous les domaines nécessitant un filtrage spectral et notamment un filtrage de réponse spectrale évoluée. Elle s'applique en particulier à la réalisation d'aplatisseurs de gain pour les amplificateurs optiques utilisés par exemple dans le domaine des  
15 télécommunications ou encore à la réalisation de filtres de réponse linéaire avec la longueur d'onde sur une bande spectrale définie pour la reconnaissance spectrale notamment pour mesurer des décalages spectraux à partir de variation de puissance par  
20 exemple dans le domaine des capteurs.

D'une manière générale, l'invention s'applique particulièrement bien à tous les systèmes nécessitant l'emploi d'un filtrage de réponse spectrale adapté à un besoin déterminé, ce type de filtrage  
25 nécessitant généralement le développement d'un filtre évolué.

**ETAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE**

Il existe actuellement plusieurs solutions  
30 de filtrage évolué en optique guidée. Ces solutions

regroupent de façon classique trois grandes familles de composants :

- les réseaux de diffraction (réseaux de Bragg, réseaux longues périodes, etc.),
- 5       - les filtres couches minces fibrés,
- les filtres interférentiels en optique guidée.

L'invention concerne la première de ces familles.

Le principe général du filtrage évolué par réseaux de diffraction, consiste à former un filtre de  
10 forme évolué par la modification échantillonnée ou répartie des paramètres du réseau. Le réseau peut alors être considéré comme une succession de réseaux élémentaires.

15       Ainsi sur la figure 1, on a représenté le tracé d'une modulation  $\Delta n$  d'indice de réfraction du cœur d'une fibre, obtenue selon une direction  $z$  de propagation d'une onde lumineuse dans le cœur, pour des réseaux élémentaires  $R1$  à  $R4$  disposés en série  
20 suivant la dite direction  $z$ . L'ensemble forme un réseau complet de réponse spectrale évoluée. Cette modulation d'indice est généralement obtenue lors de la réalisation du réseau, par photo-inscription dans le cœur de la fibre.

25       La modification échantillonnée des paramètres du réseau a pour but le changement des caractéristiques, principalement la longueur d'onde et l'efficacité de couplage, des réseaux élémentaires.

30       Actuellement, les réseaux longue période (appelé "long period grating" ou LPG en terminologie anglo-saxonne) sont utilisés dans les fibres optiques,

pour la réalisation notamment de filtre de type aplatisseur de gain (appelé "gain flatening filter" ou GFF en terminologie anglo-saxonne).

Les documents (1) et (2) du même auteur,  
5 dont les références sont précisées à la fin de la description illustrent ce type de filtre, en particulier le document (2) décrit la réalisation d'un GFF par l'association de plusieurs réseaux dans des fibres.

10 Le document (3) dont la référence est également précisée à la fin de la description, décrit plus en détail la réalisation d'un filtre GFF par le paramétrage des réseaux. Le but de l'auteur est d'optimiser la fabrication des réseaux en limitant les  
15 paramètres. Pour cela l'auteur choisi de jouer sur la phase des réseaux en introduisant un espace contrôlé entre les réseaux afin de réaliser un déphasage entre les réseaux. La période des réseaux peut alors être uniforme ou peut varier suivant un échantillonnage ou  
20 une distribution continue.

A titre d'exemple, la figure 2 illustre schématiquement en coupe, un composant de filtrage à réseaux, réalisé à partir d'une fibre. Ce composant comporte une fibre optique 1 représentée partiellement,  
25 composée d'un cœur 5 dans lequel est formé un réseau et d'une gaine optique 7 tout autour du cœur. Le réseau est formé de 3 réseaux élémentaires R2, R1 et R3 en série qui induisent respectivement une zone d'interaction entre le cœur et la gaine au voisinage du  
30 réseau correspondant, permettant de coupler une onde lumineuse du cœur vers la gaine ou inversement.

La figure 3a représente la répartition de l'énergie lumineuse d'une onde lumineuse E introduite dans le cœur 5 de la fibre 1 respectivement pour trois longueurs d'onde centrales  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$  de bandes spectrales de l'onde. La figure 3b représente la répartition de l'énergie lumineuse d'une onde lumineuse S récupérée en sortie du cœur 5 de la fibre 1 pour ces trois longueurs d'onde centrales  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ .

On entend par bande spectrale une bande présentant un ensemble de longueurs d'onde avec une longueur d'onde centrale et une largeur de bande déterminées, une onde lumineuse pouvant comporter une ou plusieurs bandes spectrales.

Ainsi, l'onde lumineuse E introduite dans le cœur 5 de la fibre 1 est véhiculée par celui-ci jusqu'au réseau R2. Le réseau permet alors de coupler pour la bande spectrale de longueur d'onde centrale  $\lambda_2$ , tout ou partie du mode guidé de l'onde, vers un ou plusieurs modes de gaine se propageant dans la gaine optique 7, dans le même sens que le mode guidé. Les modes couplés sont représentés symboliquement par des flèches.

La partie non couplée par le réseau R2 de l'onde initiale, continue à se propager dans le cœur jusqu'au réseau R1. Celui-ci permet alors de coupler pour la bande spectrale de longueur d'onde centrale  $\lambda_1$ , tout ou partie du mode guidé de la partie non couplée par le réseau R2 de l'onde initiale, vers un ou plusieurs modes de gaine. La partie non couplée par les réseaux R2 et R1 de l'onde initiale, continue à se

propager dans le cœur jusqu'au réseau R3. Celui-ci permet alors de coupler pour la bande spectrale de longueur d'onde centrale  $\lambda_3$ , tout ou partie du mode guidé de la dite partie de l'onde non couplée par les réseaux R2 et R1, vers un ou plusieurs modes de gaine. Après ces différents couplages, l'onde lumineuse S correspondant à la partie non couplée de l'onde E par les réseaux R2, R1, R3 est récupérée en sortie du réseau R3.

10 Dans cet exemple, les différents réseaux élémentaires R2, R1 et R3, sont paramétrés pour transformer l'onde lumineuse E qui présentes des amplitudes différentes en fonction des longueurs d'onde  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$  (voir fig 3a) en une onde lumineuse S qui  
15 présentes des amplitudes identiques pour ces longueurs d'onde (voir fig 3b).

Dans le cas particulier des réseaux longues périodes, le couplage par un réseau élémentaire entre les différents modes a lieu pour des longueurs d'onde  
20 déterminées  $\lambda_j$  par la relation connue suivante :

$$\lambda_j = \Lambda \times (n_0 - n_j) \quad (1)$$

avec :

- 25 -  $n_0$  l'indice effectif du mode guidé 0 dans le cœur,
- $n_j$  l'indice effectif du mode de gaine numéro j,
- $\lambda_j$  la longueur d'onde de résonance pour le couplage au mode j,
- 30 -  $\Lambda$  la période du réseau élémentaire.



Ce couplage se traduit par un transfert d'énergie entre le mode guidé du coeur et le ou les modes de gaine pour les longueurs d'ondes  $\lambda_j$ . L'énergie couplée dans les modes de gaine est ensuite guidée dans la gaine généralement avec des pertes.

La modification de  $\lambda_j$  passe donc par le paramétrage de  $\Lambda$  et/ou de la répartition des indices effectifs des différents modes.

L'efficacité du couplage entre les modes dépend de la longueur du réseau et du coefficient de couplage  $K_{0j}$  entre les modes 0 et j. Ce coefficient est donné par l'intégrale de recouvrement spatiale des modes 0 et j, pondérée par le profil d'indice induite par le réseau. On a ainsi une relation du type :

15

$$K_{0j} \propto \iint \xi_0 \cdot \xi_j^* \cdot n \cdot ds \quad (2)$$

avec :

- $\xi_0$  et  $\xi_j$  les profils transversaux des modes 0 et j et  $\xi_j^*$  le conjugué complexe de  $\xi_j$ ,
- $\Lambda$  l'amplitude de la modulation d'indice effectif induite par le réseau dans un plan perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde,
- $ds$  est un élément d'intégration dans un plan perpendiculaire à l'axe de propagation de l'onde,

La modification de  $K_{0j}$  est obtenue en faisant varier le profil des modes et/ou le profil d'indice induit par le réseau, autrement dit en faisant varier les caractéristiques opto-géométrique de la

gaine et/ou du cœur (dimensions, niveau d'indice, etc.) et/ou les caractéristiques du réseau ( $\Delta n$ , position du réseau par rapport au cœur et à la gaine, etc.).

D'une façon générale dans les fibres optiques pour modifier les caractéristiques des zones d'interaction, on peut jouer sur les paramètres suivants :

- la longueur  $L$  du réseau,
- sa période  $\Lambda$ ,
- 10 -  $\Delta n$  l'amplitude de la modulation d'indice effectif induite par le réseau,
- $n_{co}$  l'indice du cœur de la fibre,
- $\phi$  la phase du réseau.

15 Le nombre important de paramètres rend difficile la réalisation d'un filtre évolué tel que celui précédemment décrit. Une des difficultés est tout d'abord la qualification et la quantification des paramètres des réseaux élémentaires permettant  
20 d'atteindre la forme spectrale évoluée recherchée. Cette difficulté est d'ordre théorique. Une seconde difficulté est la réalisation pratique des réseaux élémentaires ainsi paramétrés avec la plus grande précision possible.

25 Ces deux problèmes sont liés puisque la mise en pratique d'un procédé de fabrication impose le choix et l'élimination de certains paramètres.

Par ailleurs, le cœur de la fibre est dépendant de la gaine optique dans laquelle il est  
30 formé et la gaine présente un indice de réfraction inférieur à celui du cœur pour permettre la propagation

d'une onde lumineuse dans le cœur. Le cœur ne pouvant exister sans la gaine optique, cette dépendance limite les possibilités de paramétrage des réseaux et les solutions de conceptions, d'architecture et  
5 d'intégration des réseaux dans des systèmes complexes.

La réalisation de filtre évolué décrite pour les fibres optiques est transposable à l'optique intégrée. Un exemple de filtre utilisant un réseau dans une structure en optique intégrée est décrit dans le  
10 brevet US 5 949 934. Dans ce brevet est illustré, l'utilisation d'une gaine optique de part et d'autre d'un réseau formé dans le cœur d'un guide en optique intégrée, cet ensemble étant disposé sur un substrat. Cette gaine est réalisée par la superposition de  
15 couches entre lesquelles le cœur est pris en sandwich. Dans ce brevet, le cœur est encore dépendant de la gaine puisqu'il ne peut exister sans les couches entre lesquelles il est disposé. La gaine décrite dans ce brevet permet à la fois d'induire des modes de gaine et  
20 de réaliser un support pour le cœur du guide. On retrouve donc les mêmes problèmes de paramétrage en optique intégrée que ceux exposés dans le cas des fibres.

## 25 EXPOSE DE L'INVENTION

La présente invention a pour but de proposer un composant de filtrage en optique intégrée, comprenant au moins une gaine optique ainsi que son procédé de réalisation, l'utilisation d'une gaine selon  
30 l'invention permettant de pallier aux difficultés de paramétrage de l'art antérieur en offrant plus de

souplesse dans le paramétrage. Ce composant de filtrage peut-être un filtre évolué.

Un but de l'invention est de proposer un composant de filtrage comprenant au moins une gaine  
5 optique qui soit indépendante du cœur de guide auquel elle est associée. On entend par indépendance du cœur et de la gaine, le fait qu'ils peuvent exister dans un substrat indépendamment l'un de l'autre. Autrement dit, le cœur peut exister sans la gaine et la gaine peut  
10 exister sans le cœur.

Un but de l'invention est aussi de réaliser, un composant de filtrage apte à modifier notamment au moins une caractéristique du ou des modes se propageant dans le cœur.

15 Les caractéristiques du ou des modes se propageant dans le cœur peuvent être en particulier l'indice effectif, la taille du mode et/ou la phase.

De façon plus précise, le composant de filtrage en optique intégrée de l'invention comporte  
20 dans un substrat au moins un ensemble de filtrage comprenant un cœur de guide optique, une gaine optique indépendante du cœur et au moins deux zones d'interaction élémentaires en série, chaque zone d'interaction élémentaire présentant au moins un  
25 paramètre structurel différent de celui ou de ceux auxquels elle est adjacente, chaque zone d'interaction élémentaire étant définie par une zone du substrat comportant un réseau élémentaire de couplage entre le cœur du guide et la gaine optique, au moins une portion  
30 de la gaine dite gaine élémentaire entourant au moins une portion du cœur, dite cœur élémentaire, l'indice de

réfraction de chaque gaine élémentaire étant différent de l'indice de réfraction du substrat et inférieur à l'indice de réfraction du cœur au moins dans la partie de la gaine élémentaire voisine du cœur élémentaire,  
5 les différents réseaux élémentaires d'un ensemble de filtrage formant un réseau.

On entend par réseau élémentaire, un réseau dont tous les paramètres structurels sont constants.

Les gaines élémentaires d'une gaine peuvent  
10 être différentes ou identiques, contiguës ou séparées.

On entend par entourer le fait que le profil de mode fondamental du cœur du guide présente un maximum qui est inclus dans le profil d'indice de la gaine. Ainsi le profil du mode fondamental du cœur  
15 peut-être tout ou parti inclus dans le profil d'indice de la gaine ce qui se traduit au niveau structurel par un cœur situé n'importe où dans la gaine y compris à sa périphérie auquel cas le cœur peut-être en partie à l'extérieur de la gaine.

20 On entend par adjacent le fait que les zones d'interaction peuvent être contiguës ou séparées

Selon l'invention, la gaine et le cœur existent indépendamment l'un de l'autre dans le substrat ce qui n'est pas le cas dans l'art antérieur.  
25 Cette indépendance permet plus de souplesse dans la réalisation du composant de filtrage. En particulier, le cœur peut ne plus être situé dans la gaine en dehors des zones d'interaction mais uniquement dans le substrat qui permet l'isolement optique du cœur. Ainsi  
30 la gaine n'agit sur la propagation d'une onde lumineuse dans le cœur du guide associé que dans la partie qui

entoure le cœur et la gaine peut guider ou véhiculer des ondes lumineuses indépendamment du cœur.

La gaine selon l'invention est créée artificiellement dans le substrat, au moins dans les zones d'interaction et indépendamment du cœur et du substrat.

D'une façon générale, on appellera gaine artificielle ce type de gaine et réseau élémentaire à gaine artificielle, une zone d'interaction. L'ensemble des réseaux élémentaires à gaine artificielle, c'est-à-dire l'ensemble des zones d'interaction, formant un réseau à gaine artificielle appelé artificial cladding grating (ACG) en terminologie anglo-saxonne

Le substrat peut bien entendu être réalisé par un seul matériau ou par la superposition de plusieurs couches de matériaux. Dans ce dernier cas, l'indice de réfraction de la gaine est différent de l'indice de réfraction du substrat au moins dans les couches voisines de la gaine.

De façon avantageuse, chaque gaine élémentaire présente un indice de réfraction supérieur à celui du substrat.

Selon l'invention, le guide peut-être un guide planaire, lorsque le confinement de la lumière se fait dans un plan contenant la direction de propagation de la lumière ou un microguide, lorsque le confinement de la lumière est réalisé dans deux directions transverses à la direction de propagation de la lumière.

Par ailleurs, le réseau élémentaire d'une zone d'interaction est formé dans le cœur du guide et/ou dans la gaine et/ou dans le substrat.

Comme on l'a vu précédemment, l'ensemble  
5 des réseaux élémentaires des différentes zones d'interaction en série, forme un réseau. Les caractéristiques d'un réseau à gaine artificielle c'est-à-dire les caractéristiques des zones d'interaction d'un réseau sont telles qu'elles  
10 permettent l'obtention en sortie du réseau, du spectre lumineux recherché.

Le composant de l'invention peut comporter plusieurs ensembles de filtrage tels que définis précédemment, les zones d'interaction d'un ensemble de  
15 filtrage pouvant présenter des caractéristiques différentes des zones d'interaction d'un autre ensemble.

Pour réaliser un réseau à gaine artificielle de spectre adapté à l'application  
20 souhaité, le réseau est décomposé en réseaux élémentaires, chaque réseau étant associé à une zone d'interaction. Chaque zone d'interaction d'un ensemble de filtrage se distingue d'une autre zone d'interaction de cet ensemble par au moins une caractéristique  
25 choisie parmi l'efficacité du couplage du réseau élémentaire correspondant à cette zone, la longueur d'onde centrale de couplage de ce réseau élémentaire et la phase du couplage du réseau élémentaire.

Ces caractéristiques peuvent être  
30 modifiées en jouant pour chaque zone d'interaction élémentaire sur au moins un paramètre structural qui

doit être différent de celui ou de ceux auxquels elle est adjacente.

Ces paramètres peuvent être ceux des réseaux élémentaires mais aussi des gaines élémentaires et/ou des cœurs élémentaires. En effet contrairement à l'art antérieur, on peut modifier les paramètres de la gaine et/ou du cœur grâce à l'indépendance du cœur et de la gaine.

Ainsi, les paramètres pour chaque zone d'interaction peuvent être choisis au moins parmi :

- la longueur  $L$  du réseau élémentaire,
- la période  $\Lambda$  du réseau élémentaire,
- le profil du réseau élémentaire,
- la position du réseau élémentaire dans la zone d'interaction,
- $\Delta n$  l'amplitude de la modulation d'indice effectif induite par le réseau élémentaire,
- $\phi$  la phase du réseau élémentaire,
- les dimensions de la gaine élémentaire,
- les dimensions du cœur élémentaire,
- la valeur de l'indice de réfraction de la gaine élémentaire,
- $n_{co}$  la valeur de l'indice du cœur élémentaire,
- la position de la gaine élémentaire dans le substrat,
- la position du cœur élémentaire dans la gaine.

On peut ainsi modifier dans chaque zone d'interaction, au moins une caractéristique du ou des



modes se propageant dans le cœur du guide et/ou d'un ou des modes de propagation dans la gaine.

Ainsi, par exemple au niveau d'une gaine élémentaire, plus ses dimensions et son niveau d'indice  
5 seront importants plus on aura de modes de gaines admis à se propager et plus on aura donc de bandes spectrales de filtrage possibles. Cela peut être un avantage si on cherche des filtrages multiples ou pour avoir plus de marge dans le choix d'un mode de filtrage.

10 Si on cherche à limiter le nombre de modes de gaine pouvant être couplé, il est intéressant à l'inverse de réduire les dimensions opto-géométriques de la gaine élémentaire.

Au niveau du cœur élémentaire, ses  
15 dimensions et son niveau d'indice conditionnent les caractéristiques du mode qui s'y propage. Par ailleurs, plus les écarts d'indice entre le coeur, la gaine et le substrat seront importants et plus on aura potentiellement de chance d'avoir des couplages pour  
20 des périodes de réseaux faibles comme le montre l'équation (1) (à une longueur d'onde de résonance donnée, la période est inversement liée à la différence d'indice entre le mode guidé du cœur et le mode de gaine).

25 En jouant sur la position du cœur, du réseau et de la gaine, on peut générer des couplages différents. En effet, on voit bien à partir de l'équation (2) que la force du couplage dépend de la position relative dans le plan transverse à l'axe de  
30 propagation des profils du mode de gaine, du mode guidé dans le coeur et du réseau.

Certains des paramètres des zones d'interactions peuvent être plus difficiles à maîtriser que d'autres. C'est le cas en général des paramètres liés au réseau élémentaire. Ces paramètres sont en particulier :

- les amplitudes de la modulation d'indice effectif définies notamment par les différences de motifs des réseaux élémentaires appliquées au cœur du guide et/ou à la gaine,
- les périodes des réseaux définies par les valeurs de pas des motifs et d'indices effectifs des modes de couplage concernés.

Aussi de façon avantageuse, on choisira plutôt de réaliser un réseau élémentaire à motif constant en période et/ou en amplitude et de jouer sur les autres paramètres.

Selon un premier mode de réalisation les réseaux élémentaires d'un ensemble de filtrage présentent un motif constant en période et/ou en amplitude, chaque réseau élémentaire étant associé à une gaine élémentaire, de section dans un plan perpendiculaire à la direction de propagation d'un onde lumineuse et/ou de centrage par rapport au cœur élémentaire de la zone d'interaction correspondante, différents de ceux des autres gaines élémentaires dudit ensemble.

Selon un deuxième mode de réalisation les réseaux élémentaires d'un ensemble de filtrage présentent un motif constant en période et/ou en amplitude, chaque réseau élémentaire étant associé à un

coeur élémentaire, de section dans un plan perpendiculaire à la direction de propagation d'un onde lumineuse et/ou de centrage par rapport à la gaine élémentaire de la zone d'interaction correspondante, 5 différents de ceux des autres coeurs élémentaires dudit ensemble.

Selon un troisième mode de réalisation les réseaux élémentaires d'un ensemble de filtrage présentent un motif constant en période et/ou en 10 amplitude, la fonction définie par ces réseaux élémentaires comportant des changements de phase.

Ces différentes variantes peuvent être bien entendu combinées entre elles

Pour réaliser ces sauts de phase, on forme 15 par exemple entre chaque réseau élémentaire et/ou gaine élémentaire un décrochement du profil du réseau formé par l'ensemble des réseaux élémentaires.

Ce décrochement correspond à un changement de valeur de la phase de la fonction réalisée par le 20 réseau élémentaire et non à une interruption de cette fonction.

Une onde lumineuse introduite dans les différentes zones d'interaction du composant selon l'invention, à partir du cœur peut donc être filtrée. 25 En effet, un ou des modes guidés de l'onde lumineuse introduite dans le cœur sont couplés dans chaque zone d'interaction  $p$  (avec  $p$  entier allant de 1 à  $m$  et  $m \geq 2$ ) par le réseau élémentaire correspondant, à un ou plusieurs modes de la gaine élémentaire associée à 30 cette zone, pour les longueurs d'onde  $\lambda_j$  définies dans la relation (1). La partie couplée de l'onde lumineuse

dans le ou les modes de gaine peut-être ou non récupérée en sortie de la gaine et la partie non couplée de l'onde continue à être véhiculée par le cœur vers une autre zone d'interaction ou vers une sortie du cœur. L'onde lumineuse filtrée successivement par  
5 chaque zone d'interaction est récupérée finalement en sortie du cœur.

Quelque soit le mode de réalisation, l'ensemble de filtrage de l'invention peut comporter  
10 entre deux gaines élémentaires consécutives ou entre deux groupes consécutifs de gaines élémentaires, un élément de dissipation de tout ou partie des modes de gaine. Ainsi, un élément de dissipation peut-être disposé entre des gaines consécutives ou des groupes  
15 consécutifs de gaines élémentaires.

On entend par dissipation d'un mode de gaine, le fait que l'énergie lumineuse guidée dans le mode de gaine est perdue ou dissipée en dehors de la gaine et du cœur.

20 Cette dissipation du ou des modes de gaine permet de réduire ou d'éviter les interactions entre les réseaux élémentaires d'une façon simple alors qu'habituellement pour éviter ces interactions il est nécessaire de paramétrer de façon précise les phases  
25 respectives de ces réseaux.

Selon un premier mode de réalisation, cet élément de dissipation est réalisé par une gaine intermédiaire disposée entre deux gaines élémentaires de section inférieure à l'une au moins des sections des  
30 deux gaines élémentaires. Selon un deuxième mode de réalisation, cet élément de dissipation est réalisé par

une diminution de section entre deux gaines élémentaires.

Selon un autre mode de réalisation, cet élément de dissipation est réalisé par une zone du  
5 substrat disposée entre deux gaines élémentaires.

Le composant selon l'invention peut comporter en outre un élément de prélèvement, relié optiquement à la gaine de l'ensemble de filtrage de façon à prélever tout ou partie de la partie filtrée de  
10 l'onde. De cette façon, l'élément de prélèvement permet à la fois de faire une mesure spectrale de la partie filtrée et d'en déduire une mesure spectrale de la partie non filtrée sans atténuer le signal non filtré.

Le composant de l'invention s'applique  
15 notamment à la réalisation d'un aplatisseur de gain. Dans ce cas, le composant comporte au moins un ensemble de filtrage dont les zones d'interaction sont paramétrées de façon à ce qu'une onde lumineuse comprenant plusieurs bandes spectrales d'amplitude  
20 différentes, après passage dans ledit ensemble est transformée en une onde lumineuse dont les bandes spectrales présentes toutes la même amplitude.

L'utilisation d'un tel composant est particulièrement intéressant dans un amplificateur  
25 optique, afin de récupérer en sortie de l'amplificateur une onde lumineuse dont les bandes spectrales présentent toutes la même amplitude.

Le composant de l'invention s'applique aussi notamment à la réalisation d'un filtre linéaire.  
30 En effet, un filtre linéaire est un composant de filtrage dont la fonction de transfert spectrale est

linéaire par rapport à la longueur d'onde. L'utilisation d'un tel composant permet par exemple de stabiliser une source laser en fréquence. Notamment, le passage d'un signal laser de bande spectrale étroite  
5 autour d'une longueur d'onde centrale  $\lambda_0$  par un filtre réalisé selon l'invention donne en sortie un signal proportionnel à cette longueur d'onde :  $T(\lambda_0) = a\lambda_0 + \beta$  où  $\beta$  est une constante. Le moindre décalage spectral dans un sens ou dans un autre du spectre se traduit alors par  
10 une baisse ou une augmentation du signal de sortie. On peut alors réaliser un asservissement de ce signal de sortie à une commande du laser agissant sur la position spectrale de l'émission et stabiliser ainsi la source. La stabilisation de la source laser ne nécessite alors  
15 qu'un filtre et un photo-détecteur, un analyseur de spectre est rendu inutile.

Selon un mode préféré, les gaines élémentaires et/ou le cœur du guide et/ou les réseaux élémentaires peuvent être réalisés par tous types de  
20 technique permettant de modifier l'indice de réfraction du substrat. On peut citer notamment les techniques d'échanges d'ions, l'implantation ionique et/ou le rayonnement par exemple par l'insolation laser ou la photo inscription laser ou encore le dépôt de couches.

25 La technologie par échange d'ions dans le verre est particulièrement intéressante mais d'autres substrats que le verre peuvent bien entendu être utilisés tels que par exemple les substrats cristallins de type KTP ou  $\text{LiNbO}_3$ , ou encore du  $\text{LiTaO}_3$ .

30 De façon plus générale, les réseaux peuvent être réalisés par toutes les techniques permettant de

changer l'indice effectif du substrat. Aux techniques précédemment citées, on peut donc rajouter notamment les techniques de réalisation de réseaux par gravure du substrat. Cette gravure peut être réalisée au-dessus de  
5 la gaine ou dans la portion de gaine des zones d'interaction et/ou dans la portion de coeur des zones d'interaction.

Le motif du réseau peut être obtenu soit par balayage laser dans le cas de l'utilisation d'un  
10 rayonnement, soit par un masque. Ce dernier peut être le masque qui permet l'obtention du coeur et/ou de la gaine ou un masque spécifique pour la réalisation du réseau.

L'invention concerne également un procédé  
15 de réalisation d'un composant en optique intégrée tel que défini précédemment, la gaine, le coeur du guide et le réseau de chaque ensemble de filtrage étant réalisés respectivement par une modification de l'indice de réfraction du substrat de façon à ce qu'au moins dans  
20 la partie de chaque gaine élémentaire voisine du coeur et au moins dans chaque zone d'interaction, l'indice de réfraction de la gaine élémentaire soit différent de l'indice de réfraction du substrat et inférieur à l'indice de réfraction du coeur élémentaire et de façon  
25 à ce que chaque zone d'interaction élémentaire présente au moins un paramètre structural différent de celui ou de ceux auxquels elle est adjacente.

Selon un mode préféré de réalisation, le procédé de l'invention comporte les étapes suivantes :

- a) introduction d'une première espèce ionique dans le substrat de façon à permettre l'obtention après l'étape c) de la gaine optique,
- b) introduction d'une deuxième espèce ionique dans le substrat de façon à permettre l'obtention après l'étape c) du cœur du guide,
- c) enterrage des ions introduits aux étapes a) et b) de façon à obtenir la gaine et le cœur du guide,
- d) réalisation du réseau.

L'ordre des étapes peut bien entendu être inversé.

L'introduction de la première et/ou de la deuxième espèce ionique est réalisée de façon avantageuse par un échange ionique, ou par implantation ionique.

La première et la deuxième espèces ioniques peuvent être les mêmes ou elles peuvent être différentes.

L'introduction de la première espèce ionique et/ou l'introduction de la deuxième espèce ionique peuvent être réalisées avec l'application d'un champ électrique.

Dans le cas d'un échange ionique le substrat doit contenir des espèces ioniques aptes à être échangés.

Selon un mode préféré de réalisation, le substrat est du verre et contient des ions  $\text{Na}^+$  préalablement introduits, la première et la deuxième espèces ioniques sont des ions  $\text{Ag}^+$  et/ou  $\text{K}^+$ .



Selon un premier mode de réalisation, l'étape a) comprend la réalisation d'un premier masque comportant un motif apte à l'obtention de la gaine, l'introduction de la première espèce ionique étant  
5 réalisée à travers ce premier masque et l'étape b) comprend l'élimination du premier masque et la réalisation d'un deuxième masque comportant un motif apte à l'obtention du cœur, l'introduction de la deuxième espèce ionique étant réalisée à travers ce  
10 deuxième masque.

Selon un deuxième mode de réalisation, l'étape a) comporte la réalisation d'un masque comportant un motif apte à l'obtention de la gaine et du cœur, l'introduction de la première et  
15 l'introduction de la deuxième espèces ioniques des étapes a) et b) étant réalisées à travers ce masque .

Les masques utilisés dans l'invention sont par exemple en aluminium, en chrome, en alumine ou en matériau diélectrique.

20 Selon un premier mode de réalisation de l'étape c), l'enterrage de la première espèce ionique est réalisée au moins partiellement avant l'étape b) et l'enterrage de la deuxième espèce ionique est réalisée au moins partiellement après l'étape b).

25 Selon un deuxième mode de réalisation de l'étape c), l'enterrage de la première espèce ionique et l'enterrage de la deuxième espèce ionique sont réalisés simultanément après l'étape b).

30 Selon un troisième mode de réalisation de l'étape c), l'enterrage comporte un dépôt d'au moins une couche de matériau d'indice de réfraction

avantageusement inférieur à celui de la gaine, sur la surface du substrat.

Ce mode peut être bien entendu combiné avec les deux modes précédents.

5 De façon avantageuse, au moins une partie de l'enterrage est réalisée avec l'application d'un champ électrique.

Généralement avant l'enterrage sous champ et/ou le dépôt d'une couche, le procédé de l'invention  
10 peut comporter en outre un enterrage par rediffusion dans un bain ionique.

Cette étape de rediffusion peut-être réalisée en partie avant l'étape b) pour rediffuser les ions de la première espèce ionique et en partie après  
15 l'étape b) pour rediffuser les ions de la première et de la deuxième espèces ioniques. Cette étape de rediffusion peut également être réalisée en totalité après l'étape b) pour rediffuser les ions des première et deuxième espèces ioniques.

20 A titre d'exemple cette rediffusion est obtenue en plongeant le substrat dans un bain contenant la même espèce ionique que celle contenue préalablement dans le substrat.

L'étape d) de réalisation du réseau peut  
25 être mis en œuvre indépendamment des étapes a) et b) ou être réalisé simultanément au cours de l'étape a) et/ou de l'étape b) en utilisant par exemple les mêmes masques.

30 D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront mieux de la description qui va

suivre, en référence aux figures des dessins annexés. Cette description est donnée à titre purement illustratif et non limitatif.

## 5 BREVE DESCRIPTION DES FIGURES

- La figure 1 déjà décrite, représente schématiquement, le tracé d'une modulation d'indice  $\Delta n$ , obtenu pour des réseaux élémentaires R1 à R4,
- 10 - la figure 2 déjà décrite représente schématiquement en coupe, un exemple de filtre à fibre optique, comportant 3 réseaux élémentaires,
- les figures 3a et 3b illustrent respectivement la répartition de l'énergie lumineuse d'une onde  
15 lumineuse pour trois longueurs d'onde centrales  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ , en entrée et en sortie d'un composant tel que celui de la figure 2,
- la figure 4 représente schématiquement en coupe, un premier exemple de réalisation d'un composant  
20 selon l'invention,
- les figures 5a et 5b illustrent respectivement les courbes d'évolution de la longueur d'onde de couplage  $\lambda$  et du coefficient de couplage K d'une zone d'interaction en fonction du décentrement  $\delta x$   
25 entre le cœur et la gaine pour différentes tailles  $L_1$ ,  $L_2$  et  $L_3$  de gaine et la figure 5c représente les fonction de transferts des différents zones d'interaction en fonction de la longueur d'onde,
- la figure 6 illustre schématiquement en coupe un  
30 deuxième exemple de réalisation du composant de l'invention,

- la figure 7 illustre schématiquement en coupe un troisième exemple de réalisation du composant de l'invention,
- les figures 8a et 8b illustrent schématiquement en coupe un quatrième exemple de réalisation du composant de l'invention,
- les figures 9a à 9d représentent schématiquement en coupe un ensemble partiel de filtrage comportant un élément de dissipation,
- La figure 10 représente un composant selon l'invention à plusieurs ensembles de filtrage,
- la figure 11 représente schématiquement en coupe un exemple d'application du composant de l'invention à un amplificateur optique,
- les figures 12a à 12d illustrent schématiquement en coupe un exemple de procédé de réalisation d'un composant selon l'invention,
- les figures 13a à 13d illustrent schématiquement des variantes de réalisation de motif de masque permettant d'obtenir un réseau dans le cœur, et
- la figure 14 représente en coupe une variante de réalisation de composant selon l'invention présentant un réseau dans la gaine.

## 25 DESCRIPTION DETAILLÉE DE MODÈS DE MISE EN ŒUVRE DE L'INVENTION

La figure 4 illustre schématiquement en coupe un exemple de réalisation d'un composant de filtrage évolué selon l'invention. Cette coupe contient la direction z de propagation de l'onde lumineuse dans le cœur. Cette coupe est dans un plan parallèle à la

surface du substrat sachant que dans un plan perpendiculaire à la surface du substrat, on pourrait éventuellement avoir la même représentation.

Le composant représenté sur cette figure, comporte dans un substrat 10, un seul ensemble de filtrage composé d'un cœur 11 de guide optique, d'une gaine optique 13, indépendante du cœur et de trois zones d'interaction en série Z1, Z2, Z3. Chaque zone d'interaction Zp (avec p allant de 1 à 3) est définie par une portion de la gaine 13 dite gaine élémentaire Gp entourant une portion du cœur, dans une zone du substrat comportant un réseau élémentaire Rp. L'indice de réfraction de chaque gaine élémentaire est différent de l'indice de réfraction du substrat et inférieur à l'indice de réfraction du cœur au moins dans la partie de la gaine élémentaire voisine du cœur.

Les différents réseaux élémentaires R1, R2, R3 de l'ensemble de filtrage forment un réseau réalisé dans cet exemple dans le cœur 11, par une variation de la section du cœur. Sur cette figure la période du réseau est constante ainsi que les variations de la section du cœur. On aurait pu également réaliser le réseau dans la gaine ou dans la gaine et dans le cœur ou encore dans le substrat au voisinage de la gaine.

Les caractéristiques de chacune des zones d'interaction Z1, Z2, Z3 sont adaptées (voir figure 5c) de façon à obtenir le spectre souhaité compte tenu de l'onde lumineuse d'entrée.

Pour cela, dans cet exemple de réalisation, du fait de l'indépendance du cœur et de la gaine, on obtient les caractéristiques souhaitées pour les zones

d'interaction, en jouant sur les sections des gaines élémentaires  $G_1, G_2, G_3$  et/ou sur leur décentrement par rapport au cœur du guide.

La série de cercles concentriques représentés sur cette figure, schématise les modes de guide et de gaines concernés par le couplage.

En effet, la répartition en indice effectif des modes de gaine et du mode guidé dans le cœur dépend de la taille de la gaine.

Par ailleurs, la force du couplage étant définie par l'intégrale de recouvrement des modes, un décentrement de la gaine par rapport au coeur permet de faire varier le coefficient de couplage d'un mode sans perturbation importante des indices effectifs. Cela est en particulier vrai pour un couplage entre le mode fondamental de fonction impaire et des modes paires non symétriques. Quand le coeur, la gaine et le réseau sont centrés, l'intégrale de recouvrement du mode fondamental impair à un mode de gaine pair est nulle. Lors d'un décentrement gaine-coeur, cette intégrale devient une fonction croissante du décalage  $\delta x$  entre le coeur et le centre de la gaine alors que la longueur d'onde de couplage reste identique.

Si la section, par exemple la largeur  $L$  de la gaine est modifiée, l'intégrale de recouvrement des modes est peu modifiée, par contre la longueur d'onde de couplage évolue.

Dans l'exemple de la figure 4, les gaines élémentaires et les réseaux élémentaires sont disposés bout à bout mais on auraient pu tout aussi bien réaliser ces gaines et ces réseaux dans des zones

disjointes du substrat, réalisant ainsi des zones d'interactions disjointes reliées par le cœur du guide.

Les figures 5a et 5b résument ce principe  
5 de façon simple.

Sur la figure 5a est représentée l'évolution de la longueur d'onde  $\lambda$  de résonance en fonction du décalage  $\delta x$  entre le coeur et la gaine respectivement pour trois valeurs de largeur de gaine  
10 L1, L2, L3. On remarque une légère décroissance en fonction de  $\delta x$  et de gros écart en fonction de L.

La figure 5b représente l'évolution du coefficient de couplage K déduit de l'intégrale de recouvrement définie par l'équation (2). Les trois  
15 largeurs de gaine donnent des valeurs sensiblement équivalentes de couplage. On peut observer une forte variation du coefficient de couplage K en fonction du décalage  $\delta x$ .

La figure 5c représente un exemple de  
20 fonction de transfert T pour différentes zones d'interaction en fonction de la longueur d'onde  $\lambda$  ainsi que la fonction de transfert résultante, cette fonction permettant à partir d'un signal d'entrée E présentant des amplitudes différentes en fonctions des longueurs  
25 d'onde centrales, d'obtenir dans cet exemple, un signal de sortie S présentant sensiblement les mêmes amplitudes pour ces longueurs d'onde centrales. Sur cette figure, les courbes T1, T2, T3 représentent les fonctions de transfert de chacune des zones  
30 d'interaction alors que la courbe  $T_R$  donne la fonction

de transfert résultante du réseau de cet ensemble de filtrage.

On voit bien par ces courbes, un exemple de spectre évolué d'un composant de filtrage selon  
5 l'invention.

La figure 6 illustre schématiquement en coupe un autre exemple de réalisation d'un composant de filtrage évolué selon l'invention comprenant un  
10 ensemble de filtrage.

Comme précédemment, cette coupe contient la direction  $z$  de propagation de l'onde lumineuse dans le cœur et elle est dans un plan parallèle à la surface du substrat sachant que dans un plan perpendiculaire à la  
15 surface du substrat, on pourrait également avoir éventuellement la même représentation.

Dans cet exemple, l'ensemble de filtrage représenté comporte 4 zones d'interaction  $Z_1$ ,  $Z_2$ ,  $Z_3$ ,  $Z_4$  ; chaque zone d'interaction  $Z_p$  (avec  $p$  entier allant  
20 de 1 à 4) est formé respectivement par une gaine élémentaire, une portion du cœur 11 et un réseau élémentaire  $R_p$ .

Dans cet exemple, les réseaux  $R_p$  sont formés par une variation de l'indice de réfraction du  
25 cœur.

Ces réseaux ont un motif uniforme et une période constante.

Pour obtenir un spectre évolué, dans cet exemple, on a réalisé un cœur de section variable, les  
30 réseaux formés dans le cœur présentent donc également une section variable. Ainsi, sur cette figure, les



réseaux R1 et R4 sont au moins de plus petites largeur (selon la direction x) que les réseaux R2 et R3, en outre la largeur du réseau R2 est au moins plus petite que celle du réseau R3.

5                    On aurait pu également modifier la section de la gaine et du coeur ou seulement de la gaine, suivant si le réseau est inscrit dans la gaine et le coeur ou seulement dans la gaine.

10                    La figure 7 illustre schématiquement en coupe un autre exemple de réalisation d'un composant de filtrage évolué selon l'invention comprenant un ensemble de filtrage à quatre zones d'interaction.

                    Cette coupe contient également la direction  
15                    z de propagation de l'onde lumineuse dans le coeur et elle est dans un plan parallèle à la surface du substrat.

                    Sur cette figure, comme sur la figure 6, les gaines élémentaires présentent toutes la même  
20                    section et sont toutes centrées par rapport au coeur 11. Aussi, pour obtenir en sortie des zones d'interaction, un spectre adapté à l'application visée, on réalise des réseaux élémentaires de motifs constants en période et en amplitude mais déphasés les uns par rapport aux  
25                    autres.

                    Dans cet exemple, les sauts de phase sont formés par une modification de la phase du profil du réseau entre deux réseaux élémentaires.

                    Dans le cas d'un réseau formé par une  
30                    variation de la section du coeur, on définit une

fonction largeur  $l(z)$  dépendant d'une coordonnée longitudinale  $z$  à l'axe de propagation des modes :

$$l(z) = l_{\text{coeur}} + \frac{\Delta l}{2} \times \left[ a + \cos\left(\frac{2\pi}{\Lambda} z + \phi(z)\right) \right] \quad (3)$$

5 Avec :

- $l_{\text{coeur}}$  la largeur du coeur en dehors du réseau,
- $\Delta l$ , amplitude de variation de largeur du coeur,
- 10 -  $a$  terme de décalage, ( $a=1$  dans la figure 7),
- $\Lambda$  période du réseau,
- $\phi$  phase du réseau.

Les sauts de phase sont introduits en  
 15 définissant une fonction  $\phi(z)$  par paliers sur les différentes longueurs des réseaux élémentaires. Comme on le voit, le motif du réseau a une période et une amplitude constante, on remarque juste des décrochements dus aux changements de valeurs de phase  
 20  $\phi$  sur les différentes longueurs.

Cette solution est donc particulièrement intéressante. Tout d'abord le motif est uniforme mis à part les décrochements de phase ce qui simplifie sa conception. De plus ce motif pouvant être directement  
 25 réalisé en deux dimensions à partir par exemple du masque utilisé pour l'introduction d'ions, le mode de fabrication est facilité par comparaison avec les solutions à fibre pour lesquelles un masque d'amplitude à variation mono-dimensionnelle est utilisé. En effet,  
 30 dans les solutions à fibres, le déphasage ne peut

généralement pas être contrôlé par la forme distribuée du motif mais par l'insertion d'un segment déphasant. Le déphasage créé par ce segment est défini physiquement par le déphasage induit entre les modes de guide et de gaine s'y propageant. Un déphasage de  $\pi$  est ainsi obtenu par l'insertion d'un segment de longueur  $\Lambda/2$  modulo  $\Lambda$ .

Dans notre cas, le déphasage est simplement défini par la succession des valeurs  $\phi_p$  données à la fonction  $l(z)$  de l'équation (3).

Des sauts de phase dans un réseau formé par une segmentation du coeur et/ou de la gaine peuvent également être obtenus par une variation de cette segmentation. A titre d'exemple, la figure 8a représente un réseau formé par une segmentation du coeur et comportant des sauts de phase. Cette coupe contient également la direction  $z$  de propagation de l'onde lumineuse dans le coeur et elle est dans un plan parallèle à la surface du substrat sachant que dans un plan perpendiculaire à la surface du substrat, on pourrait également avoir la même représentation.

Ces sauts de phase sont réalisés par une modification de la segmentation du coeur à la sortie de chaque zone d'interaction, comme on le voit sur la figure 8b qui est une vue agrandie de la sortie de la zone Z3 référencée 50 (on peut remarquer sur cette vue la succession des zones du coeur à indice de réfraction différent), le trait pointillé repère la position du changement de phase.

Cette segmentation correspond à une modification de l'indice de réfraction du coeur dans la

direction de l'axe z, chaque segment correspondant à une tranche du cœur dans un plan perpendiculaire ou non à l'axe z.

Ici encore le motif est défini en deux dimensions par un masque par exemple basé sur une fonction mathématique de type sinusoidale.

Quelque soit le mode de réalisation décrit précédemment, dans la pratique, les réseaux élémentaires peuvent interférer entre eux et la courbe spectrale de transmission résultant de la mise en série des réseaux n'est alors pas simplement le résultat de la multiplication des transmissions élémentaires (voir figure 5c). Aussi, pour éviter l'apparition de bruit d'interférence, les zones d'interaction doivent être précisément paramétrées.

Aussi dans un mode de réalisation particulièrement avantageux de l'invention qui peut être combiné avec les modes de réalisation décrits précédemment et qui est permis grâce à l'indépendance de la gaine et du cœur du guide, on peut simplifier le paramétrage des zones d'interaction en isolant totalement ou partiellement lesdites zones ce qui permet de limiter ou d'éviter les problèmes d'interférences. La réponse globale de l'ensemble des zones d'interaction ne présente alors plus ou peu de bruit d'interférence.

Cette isolation est obtenue par un élément de dissipation qui permet de dissiper tout ou partie des modes de gaine couplés dans chaque zone d'interaction de façon à ce qu'ils ne puissent pas être recouplés ultérieurement par un réseau élémentaire dans

une autre zone d'interaction et ainsi interférer avec le mode fondamental guidé dans le cœur de guide.

Un premier exemple de réalisation de cette isolation est représenté schématiquement en coupe sur la figure 9a. Cette coupe contient la direction z de propagation de l'onde lumineuse dans le cœur.

Sur cette figure sont représentées deux zones d'interaction Z1 et Z2 réalisées à partir du substrat 10, de deux gaines élémentaires G1 et G2, des réseaux R1 et R2 et du cœur 11. Dans cet exemple, l'élément de dissipation par des changements de sections entre les différentes gaines élémentaires. La gaine G2 présente une section inférieure à celle de la gaine G1 de façon à ce que le ou les modes guidés dans la gaine G1 ne puissent se propager dans la gaine suivante G2 et se perdent dans le substrat 10 ; seul le mode guidé dans le cœur 11 pénètre dans la seconde gaine élémentaire G2. Aucune interférence n'est alors possible.

Un deuxième exemple de réalisation d'un élément de dissipation est représenté schématiquement en coupe sur la figure 9b. Cette coupe contient comme précédemment la direction z de propagation de l'onde lumineuse dans le cœur.

Cet exemple est particulièrement avantageux lorsque les tailles des gaines sont voisines. Pour cela on interrompt la gaine entre chaque zone d'interaction élémentaire. Ainsi les gaines élémentaires sont distantes les unes des autres et les éléments de dissipation sont formés par les zones du substrat situées entre deux gaines élémentaires. Ceci est rendu

possible grâce à l'indépendance du cœur et de la gaine qui permet la continuité du coeur entre les différentes gaines élémentaires. Le mode fondamental guidé dans le cœur n'est ainsi pas perturbé et les modes de gaine  
5 sont par contre dissipés dans le substrat à l'extrémité de chacune des gaines élémentaires.

Un troisième exemple de réalisation d'un élément de dissipation est représenté schématiquement en coupe sur la figure 9c. (cette coupe contient comme  
10 précédemment la direction z de propagation de l'onde lumineuse dans le cœur).

Cet exemple est une combinaison des deux précédents. Dans cet exemple, les gaines élémentaires ne sont interrompues que partiellement afin d'assurer  
15 une continuité avec une gaine intermédiaire  $G_i$ , disposée entre deux gaines élémentaires. Cette gaine intermédiaire  $G_i$  est traversée par le cœur 11 mais elle n'est pas associée à un réseau ce qui fait que le cœur et la gaine intermédiaire ne sont pas couplés. La gaine  
20 intermédiaire est de section plus faible que celles des gaines élémentaires et forme l'élément de dissipation.

Cette dernière solution offre l'avantage de limiter le nombre de transition entre les gaines élémentaires et le substrat pour le cœur du guide  
25 (comme dans le premier exemple) tout en permettant des successions de gaines élémentaires de tailles voisines

A titre d'exemple, les gaines élémentaires peuvent avoir une largeur (considérée dans une direction perpendiculaire à l'axe z et perpendiculaire  
30 à la surface du substrat) voisine de 80  $\mu\text{m}$  alors que la gaine intermédiaire ou de transition a une largeur

voisine de 15  $\mu\text{m}$  et une longueur de l'ordre du millimètre.

Ainsi, l'utilisation d'une isolation entre les gaines élémentaires permet une mise en œuvre plus facile de l'ensemble de filtrage de l'invention  
5 puisqu'elle ne requière pas la maîtrise complète de la réponse spectrale d'une succession de réseaux élémentaires. A contrario on perd en efficacité ce que l'on gagne en simplicité. De plus comme on ne peut plus  
10 jouer sur les résonances entre les réseaux et sur l'apparition d'asymétrie, la longueur (considérée selon la direction  $z$  de propagation) cumulée des réseaux est plus longue.

En fonction des applications, on utilisera  
15 donc des éléments de filtrage avec ou sans isolation entre gaines élémentaires.

Un dernier exemple de réalisation de cette isolation est représentée schématiquement en coupe sur la figure 9d (cette coupe contient comme précédemment  
20 la direction  $z$  de propagation de l'onde lumineuse dans le cœur).

Cet exemple est une solution intermédiaire qui utilise à la fois une succession indépendante de réseau à saut de phase et un élément de dissipation.  
25 Cette solution est particulièrement avantageuse car la réponse d'un réseau à saut de phase et sa réalisation pratique sont aisées et l'insertion de sauts de phase dans un réseau permet par ailleurs la création de dissymétries et de contre résonance qui peuvent  
30 permettre une réduction importante de la longueur cumulée du réseau.

Ainsi la figure 9d présente une solution identique à celle de la figure 9c mais les deux réseaux élémentaires R1 et R2 qui ont été mis en série ont des sauts de phase.

5 Dans tous les exemples donnés précédemment, le motif du réseau est réalisé avantageusement dans le substrat en deux dimensions, ce qui permet outre les avantages décrits précédemment de réaliser plusieurs ensembles de filtrage sur un même substrat.

10 Cet avantage permet notamment d'augmenter la rentabilité de fabrication du composant en réalisant sur un même substrat plusieurs ensembles de filtrage pouvant être réalisés simultanément et mis en parallèle au sein d'un même substrat.

15 Un exemple de réalisation d'un composant de filtrage comportant plusieurs ensemble de filtrage 17 dans un même substrat 10 est représenté schématiquement en perspective sur la figure 10. Chacun de ces ensembles 17 présente des paramètres différents de ses  
20 voisins de façon à couvrir l'ensemble des variations de caractéristiques des filtres dans la limite de reproductibilité du mode de fabrication considéré.

Dans certaines applications, après la fabrication de ces ensembles, chaque composant est  
25 testé afin de sélectionner l'ensemble de filtrage qui se rapproche le plus du filtre désiré. Au moins, cet ensemble est alors connectorisé et le composant est conditionné pour l'application visée.

Cette connectivisation peut se faire comme  
30 représenté sur la figure 10 par deux férules fibrées rapportées sur les parois latérales du substrat.



Il est important de souligner que ce mode de fabrication ne nécessite pas des tailles de substrat beaucoup plus importantes que dans le cas d'un composant à un seul ensemble de filtrage. En effet, les réseaux à gaine artificielle sont généralement peu  
5 larges (par exemple, une centaine de micromètres) alors que les substrats ont une largeur minimum de quelques mm pour assurer leur résistance mécanique.

Le composant de filtrage de l'invention  
10 peut-être associé à de nombreux éléments d'optiques qui peuvent ou non être intégrés sur le même substrat que le composant de filtrage.

En particulier, un dispositif de prélèvement et/ou de mesure peut être associé à  
15 l'entrée et/ou à la sortie du composant. Ce dispositif peut-être disposé en sortie de la gaine pour récupérer tout ou partie de l'onde lumineuse extraite du cœur par les différents réseaux élémentaires ou en sortie du cœur (comme représenté figure 11).

20

La figure 11 représente à titre d'exemple en coupe dans un plan parallèle à la surface du substrat plusieurs éléments optiques associés au composant de l'invention pour réaliser un amplificateur  
25 optique intégrée.

Sur cette figure est représenté un substrat 20, dans lequel est formé un ensemble de filtrage 17 conforme à l'invention apte à réaliser par exemple un aplatisseur de gain, cet ensemble comportant un cœur 11  
30 de guide, un cœur 41 de guide, un coupleur 39 de sortie obtenu par le rapprochement des cœurs 11 et 41, un

élément d'amplification 21 représenté schématiquement par une zone en pointillés, deux cœurs de guide 31 et 33 et un coupleur d'entrée 29 obtenu par le rapprochement des deux cœurs 31 et 33. Le cœur 41 et le coupleur 39 forme un élément de prélèvement d'une  
5 partie de l'onde véhiculée par le cœur 11.

Un signal de pompe P est introduit dans le cœur 33 tandis que l'onde lumineuse E à amplifier est injectée dans le cœur 31. Dans le coupleur 29, le  
10 signal de pompe se superpose à l'onde lumineuse E dans le cœur 31 qui est relié à l'élément d'amplification. L'onde lumineuse E est alors amplifiée dans l'élément 21. La sortie de l'élément d'amplification étant reliée à l'ensemble de filtrage 17 par le cœur 11 de guide,  
15 l'onde amplifiée est filtrée par l'ensemble 17 de façon à ce que l'onde S récupérée en sortie du cœur 11 présente un gain uniforme pour toutes ses bandes spectrales.

Pour contrôler l'amplification, le coupleur  
20 39 prélève une partie de l'onde véhiculée par le cœur 11. Cette partie prélevée M est alors transportée par le cœur 41 pour être mesurer par exemple par un élément de mesure non représenté tel qu'un photodétecteur relié à l'extrémité du cœur 41.

25 Selon un mode de réalisation avantageux, l'élément de prélèvement représenté en pointillés par la référence 45 (par exemple un photodétecteur) est situé directement en sortie de la gaine de l'ensemble 17 de façon à prélever une partie de l'onde filtrée par  
30 l'ensemble 17 ce qui permet à la fois de faire une mesure spectrale de la partie filtrée et d'en déduire

une mesure spectrale de la partie non filtrée sans atténuer le signal non filtré.

Bien entendu, le composant de filtrage de l'invention peut être associé à de nombreux autres  
5 éléments optiques tels que par exemple un multiplexeur/démultiplexeur, une source laser large bande à émission spontanée, etc.

Les figures 12a à 12d illustrent un exemple  
10 de procédé de réalisation d'un composant selon l'invention, à partir de la technologie par échange d'ions.

Ces figures sont des coupes dans un plan perpendiculaire à la surface du substrat et  
15 perpendiculaire à la direction z de propagation et contenant une zone d'interaction.

Ainsi, sur la figure 12a est représentée un substrat 10 contenant des ions B.

Un premier masque 61 est réalisé par  
20 exemple par photolithographie sur une des faces du substrat ; ce masque comporte une ouverture déterminée en fonction des dimensions (largeur, longueur) de la gaine que l'on souhaite obtenir.

Un premier échange ionique est alors  
25 réalisé entre des ions A et les ions B contenus dans le substrat, dans une zone du substrat située au voisinage de l'ouverture du masque 61. Cet échange est obtenu par exemple en trempant le substrat muni du masque dans un bain contenant des ions A et en appliquant  
30 éventuellement un champ électrique entre la face du substrat sur laquelle est disposée le masque et la face

opposée. La zone du substrat dans laquelle a été réalisée cet échange ionique forme la gaine 63, qui comme on l'a vu précédemment peut être non uniforme en dimensions et présenter un centrage variable.

5 Pour enterrer cette gaine, une étape de rediffusion des ions A est réalisée avec l'assistance ou non d'un champ électrique appliqué comme précédemment. La figure 12b, représente la gaine après une étape d'enterrage partielle de celle-ci. Le masque  
10 61 est enlevé généralement avant cette étape.

La réalisation de la gaine selon l'invention s'apparente donc à la réalisation d'un cœur de guide mais avec des dimensions différentes.

L'étape suivante représentée figure 12c  
15 consiste à former un nouveau masque 65 sur le substrat par exemple par photolithographie après éventuellement un nettoyage de la face du substrat sur lequel il est réalisé. Ce masque comporte des motifs aptes à permettre la réalisation d'un cœur 67 de guide et en  
20 particulier lorsque le cœur comporte un réseau, les motifs du masque 65 peuvent être adaptés aux motifs du réseau à former.

Un deuxième échange ionique est alors réalisé entre les ions B du substrat et des ions C qui  
25 peuvent être les mêmes ou non que les ions A. Cet échange ionique peut-être réalisé comme précédemment en trempant le substrat dans un bain contenant des ions C et en appliquant éventuellement un champ électrique.

Enfin, la figure 12d illustre le composant  
30 obtenu après enterrage du cœur 67 obtenu par rediffusion des ions C et enterrage final de la gaine,

avec l'assistance ou non d'un champ électrique. Le masque 65 est généralement supprimé avant cette étape d'enterrage.

Les conditions du premier et du deuxième  
5 échanges ioniques sont définies de façon à obtenir les différences d'indices de réfraction souhaitées entre le substrat, la gaine et le cœur. Les paramètres d'ajustement de ces différences sont notamment le temps d'échange, la température du bain, la concentration en  
10 ions du bain et la présence ou non d'un champ électrique.

A titre d'exemple de réalisation, le substrat 10 est du verre contenant des ions  $\text{Na}^+$ , le masque 61 est en aluminium et présente si la gaine est  
15 uniforme une ouverture d'environ 30  $\mu\text{m}$  de large (la longueur de l'ouverture dépend de la longueur désirée de gaine pour l'application visée).

Le premier échange ionique est réalisé avec un bain comportant des ions  $\text{Ag}^+$  environ à 20% de  
20 concentration, à une température d'environ 330°C et pendant un temps d'échange de 5 mn environ. Une rediffusion des ions a tout d'abord lieu à l'air libre à une température d'environ 330°C et pendant 30 s, puis on effectue un enterrage partiel de la gaine ainsi  
25 formée dans le verre. Cet enterrage est réalisé par une rediffusion dans un bain de Sodium à une température d'environ 260°C. La durée de cette étape dépend de la profondeur d'enterrage souhaitée pour le composant final. Ainsi pour un composant en surface une  
30 durée d'environ 3 minutes est suffisante alors que pour un composant enterré on choisira plutôt une durée

d'environ 20 minutes. Dans ce second cas il est aussi nécessaire de faire un enterrage sous champ de la gaine avant le second échange. On applique ainsi un courant de 20 mA entre deux bain de sodium de part et d'autre de la plaquette à une température de 260°C et durant 10 minutes.

Le masque 65 est aussi en aluminium et présente un motif d'ouverture environ de 3  $\mu$ m de large (la longueur du motif dépend de la longueur désirée de coeur pour l'application visée).

Le deuxième échange ionique est réalisé avec un bain comportant des ions également Ag<sup>+</sup> environ à 20% de concentration, à une température d'environ 330°C et pendant un temps d'échange de 5 mn environ, une rediffusion des ions a tout d'abord lieu à l'air libre à une température d'environ 330°C et pendant 30 s. Puis on réalise, un enterrage partiel du coeur ainsi formé dans le verre par une rediffusion dans un bain de Sodium à une température d'environ 260°C et pendant 3 mn. Pour un composant enterré, cette étape n'est pas nécessaire.

L'enterrage final de la gaine et du coeur se fait sous champ électrique les deux faces opposées du substrat étant en contact de deux bains (dans cet exemple du sodium) apte à permettre d'appliquer une différence de potentiel entre ces deux bains. Pour un composant en surface une durée inférieure à la minute est suffisante, dans le cas d'un composant enterré une durée de l'ordre de 30 minutes est utilisée, l'enterrage se faisant avec un courant de 20 mA à 240°C.

De nombreuses variantes du procédé décrit précédemment peuvent être réalisées. Notamment, les étapes d'enterrage de la gaine et du cœur peuvent être réalisées comme décrit précédemment au cours de 2  
5 étapes successives mais elles peuvent également être réalisées dans certains cas simultanément, le cœur ayant une concentration ionique supérieure à celle de la gaine, il est enterré plus vite que la gaine, ce qui permet en outre le centrage du cœur dans la gaine.

10 La différence de concentration entre le cœur et la gaine est généralement obtenue soit par une rediffusion dans un bain des ions formant la gaine soit par une différence de concentration des ions introduits aux étapes a) et b).

15 Comme on l'a vu précédemment, pour réaliser l'enterrage de la gaine et du cœur, une variante du procédé consisterai à déposer sur le substrat 10, une couche de matériau 68, représentée en pointillés sur la figure 12d. Ce matériau, pour permettre un guidage  
20 optique doit présenter avantageusement un indice de réfraction inférieur à celui de la gaine.

La réalisation du composant selon l'invention n'est pas limitée à la technique d'échange d'ions. Le composant de l'invention peut-être réalisé  
25 bien entendu par toutes les techniques qui permettent de modifier l'indice de réfraction du substrat.

Par ailleurs, comme on l'a vu précédemment, la période, la taille, la position du réseau réalisé, par rapport au cœur et à la gaine, sont des paramètres  
30 qui peuvent être adaptées en fonction des applications.

Le motif du réseau peut-être défini sur le masque permettant la réalisation de la gaine et/ou sur le masque permettant la réalisation du cœur ou sur le masque unique permettant la réalisation à la fois de la gaine et du cœur ou encore sur un masque spécifique pour la réalisation uniquement du réseau.

Les figures 13a à 13d illustrent à titre d'exemple des exemples de réalisation de masques M1, M2, M3, M4 permettant d'obtenir un réseau élémentaire. Ces figures sont des vues de dessus des masques et ne représentent que la partie des masques permettant d'obtenir le réseau. Les zones blanches du motif des masques correspondent aux ouvertures des masques.

Ces masques permettent d'obtenir un réseau périodique de période  $\Lambda$ . Les masques M1 et M4 permettent d'obtenir un réseau par segmentation tandis que les masques M2 et M3 permettent d'obtenir un réseau par variation de largeur des motifs.

Ces masques peuvent être par exemple des masques spécifiques pour la réalisation du réseau dans le cœur et/ou dans la gaine ou une partie des masques permettant l'obtention du cœur et/ou de la gaine, le réseau étant réalisé alors en même temps que le cœur et/ou la gaine.

Les figures 4, 6, 7,8 et 9 précédemment décrites illustrent des exemples de réseau formé dans le cœur du guide.

La figure 14 illustre un exemple de réalisation d'un réseau élémentaire 33 réalisé par



segmentation dans une zone d'interaction élémentaire à la fois dans le cœur 11 et dans la gaine 9.

Ainsi, sur la figure 13, le réseau 33 est formé dans la gaine 9 par une alternance de période  $\Lambda$ ,  
5 de zones 34 de longueur variables considéré dans la direction  $z$  de propagation d'une onde lumineuse. Le cœur étant par ailleurs inclus dans la gaine au moins dans la zone d'interaction, le réseau est également inscrit dans le cœur, autrement dit le cœur comporte  
10 également des zones d'indice de réfraction différent de celui du reste du cœur.

Les réseaux peuvent être formés par toutes les techniques classiques permettant de modifier localement l'indice effectif du substrat dans le cœur  
15 et/ou dans la gaine.

Ils peuvent donc être réalisés au cours des échanges ioniques permettant de réaliser le cœur et/ou la gaine ou au cours d'un échange ionique spécifique. Ils peuvent également être obtenus par une gravure du  
20 substrat au niveau de la zone d'interaction ou par un rayonnement. En particulier, les réseaux peuvent être obtenus par insolation du cœur et/ou de la gaine avec un laser de type  $\text{CO}_2$ . Le laser en produisant des échauffements localisés permet de rediffuser localement  
25 des ions et inscrire ainsi le motif des réseaux.

A titre d'exemple, on peut balayer le substrat avec un faisceau laser modulé par exemple en amplitude de manière à introduire une modulation du réseau au pas souhaité.

## REFERENCES

[1] : US 5 430 817 de A. M. Vengsarkar,

5

[2] : A. M. Vengsarkar, J. R. Pedrazzani, J. B. Judkins  
et P. J. Lemaire, "*Long-Period fiber-grating-based  
gain equalizers*", Opt. Lett. (1996) vol 21 no 5 pp  
336 -

10

[3] : EP 0 897 124 de G. Xijia,

## REVENDICATIONS

1. Composant de filtrage en optique  
intégrée comportant dans un substrat (10) au moins un  
5 ensemble de filtrage (17) comprenant un cœur de guide  
optique (11), une gaine optique (13) indépendante du  
cœur et au moins deux zones d'interaction élémentaires  
en série (Z1, Z2, Z3, Z4), chaque zone d'interaction  
élémentaire présentant au moins un paramètre structural  
10 différent de celui ou de ceux auxquels elle est  
adjacente, chaque zone d'interaction élémentaire étant  
définie par une zone du substrat comportant un réseau  
élémentaire (R1, R2, R3, R4) de couplage entre le cœur  
du guide et la gaine optique, au moins une portion de  
15 la gaine dite gaine élémentaire (G1, G2, G3) entourant au  
moins une portion du cœur, dite cœur élémentaire,  
l'indice de réfraction de chaque gaine élémentaire  
étant différent de l'indice de réfraction du substrat  
et inférieur à l'indice de réfraction du cœur au moins  
20 dans la partie de la gaine élémentaire voisine du cœur  
élémentaire, les différents réseaux élémentaires d'un  
ensemble de filtrage formant un réseau.

2. Composant selon la revendication 1,  
25 caractérisé en ce que chaque gaine élémentaire présente  
un indice de réfraction supérieur à celui du substrat.

3. Composant selon l'une quelconque des  
revendications 1 et 2, caractérisé en ce que le réseau  
30 élémentaire d'une zone d'interaction est formé dans le

cœur du guide et/ou dans la gaine et/ou dans le substrat.

4. Composant selon l'une quelconque des  
5 revendications 1 à 3, caractérisé en ce que chaque zone  
d'interaction élémentaire présentant au moins un  
paramètre structurel différent de celui ou de ceux  
auxquels elle est adjacente, chaque zone d'interaction  
se différencie d'une autre zone d'interaction par au  
10 moins une caractéristique choisie parmi une efficacité  
du couplage du réseau élémentaire correspondant à cette  
zone, une longueur d'onde centrale de couplage de ce  
réseau élémentaire et/ou une phase du couplage du  
réseau élémentaire.

15

5. Composant selon l'une quelconque des  
revendications 1 à 4, caractérisé en ce que pour chaque  
zone d'interaction, les paramètres structurels sont  
choisis au moins parmi :

- 20 - la longueur  $L$  du réseau élémentaire,
- la période  $\Lambda$  du réseau élémentaire,
- le profil du réseau élémentaire,
- la position du réseau élémentaire dans la zone  
d'interaction,
- 25 -  $\Delta n$  l'amplitude de la modulation d'indice  
effectif induite par le réseau élémentaire,
- $\phi$  la phase du réseau élémentaire,
- les dimensions de la gaine élémentaire,
- les dimensions du cœur élémentaire,
- 30 - la valeur de l'indice de réfraction de la gaine  
élémentaire,

- la valeur de l'indice du cœur élémentaire,
- la position de la gaine élémentaire dans le substrat,
- la position du cœur élémentaire dans la gaine.

5

6. Composant selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que le réseau est à profil constant en période et/ou en amplitude.

10

7. Composant selon la revendication 6, caractérisé en ce que chaque gaine élémentaire d'un ensemble de filtrage présente une section dans un plan perpendiculaire à la direction de propagation d'un onde lumineuse et/ou un centrage par rapport au cœur élémentaire de la zone d'interaction correspondante, différents de ceux des autres gaines élémentaires dudit ensemble.

15

8. Composant selon la revendication 6 ou 7, caractérisé en ce que chaque cœur élémentaire d'un ensemble de filtrage présente une section dans un plan perpendiculaire à la direction de propagation d'un onde lumineuse et/ou de centrage par rapport à la gaine élémentaire de la zone d'interaction correspondante, différents de ceux des autres coeurs élémentaires dudit ensemble.

20

25

9. Composant selon l'une quelconque des revendications 6 à 9, caractérisé en ce que la fonction définie par les réseaux élémentaires d'un ensemble de filtrage comporte des changements de phase.

30

10. Composant selon la revendication 9, caractérisé en ce que les changements de phase sont formés entre chaque réseau élémentaire par un décrochement correspondant à un changement de valeur de la phase de la fonction réalisée par le profil du réseau élémentaire.

11. Composant selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'ensemble de filtrage de l'invention comporte entre deux gaines élémentaires consécutives ou entre deux groupes consécutifs de gaines élémentaires, un élément de dissipation de tout ou partie des modes de gaine.

15

12. Composant selon la revendication 11, caractérisé en ce que cet élément de dissipation est réalisé par une diminution de section entre deux gaines élémentaires.

20

13. Composant selon la revendication 11, caractérisé en ce que cet élément de dissipation est réalisé par une gaine intermédiaire, disposée entre deux gaines élémentaires, la section de la gaine intermédiaire étant inférieure à l'une au moins des sections des deux gaines élémentaires.

25

14. Composant selon la revendication 11, caractérisé en ce que cet élément de dissipation est réalisé par une zone du substrat disposée entre deux gaines élémentaires.

30

15. Composant selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'un élément de prélèvement est relié optiquement à la gaine  
5 de l'ensemble de filtrage.

16. Composant selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte plusieurs ensembles de filtrage.  
10

17. Composant selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'ensemble de filtrage réalise un aplatisseur de gain.

18. Procédé de réalisation d'un composant en optique intégrée comportant dans un substrat au moins un ensemble de filtrage (17) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le cœur (11) et la gaine (13) de chaque  
15 ensemble de filtrage sont réalisés respectivement par une modification de l'indice de réfraction du substrat de façon à ce qu'au moins dans la partie de la gaine voisine du cœur et au moins dans la zone d'interaction, l'indice de réfraction de la gaine soit différent de  
20 l'indice de réfraction du substrat et inférieur à l'indice de réfraction du cœur et en ce que le réseau est réalisé par une modification de l'indice effectif du substrat.  
25

19. Procédé de réalisation selon la revendication 18, caractérisé en ce que la modification  
30

de l'indice de réfraction du substrat est obtenue par rayonnement et/ou par introduction d'espèces ioniques

20. Procédé de réalisation selon la  
5 revendication 19, caractérisé en ce qu'il comporte les étapes suivantes :

- a) introduction d'une première espèce ionique dans le substrat de façon à permettre l'obtention après l'étape c) de la gaine optique,
- 10 - b) introduction d'une deuxième espèce ionique dans le substrat de façon à permettre l'obtention après l'étape c) du cœur du guide,
- c) enterrage des ions introduits aux étapes a) et b) de façon à obtenir la gaine et le cœur du  
15 guide,
- d) formation du réseau.

21. Procédé de réalisation selon la  
revendication 20, caractérisé en ce que l'introduction  
20 de la première et/ou de la deuxième espèces ioniques est réalisée par un échange ionique ou par implantation ionique .

22. Procédé de réalisation selon la  
25 revendication 20 ou 21, caractérisé en ce que le substrat est du verre et contient des ions Na<sup>+</sup>, la première et la deuxième espèces ioniques sont des ions Ag<sup>+</sup> et/ou K<sup>+</sup>.

30 23. Procédé de réalisation selon l'une quelconque des revendications 20 à 22, caractérisé en



ce que l'étape a) comprend la réalisation d'un premier masque (61) comportant un motif apte à l'obtention de la gaine, l'introduction de la première espèce ionique étant réalisée à travers ce premier masque et l'étape  
5 b) comprend l'élimination du premier masque et la réalisation d'un deuxième masque (65) comportant un motif apte à l'obtention du cœur, l'introduction de la deuxième espèce ionique étant réalisée à travers ce deuxième masque.

10

24. Procédé de réalisation selon l'une quelconque des revendications 20 à 22, caractérisé en ce que le l'étape a) comporte la réalisation d'un masque comportant un motif apte à l'obtention de la  
15 gaine et du cœur, l'introduction de la première et de la deuxième espèces ioniques étant réalisée à travers ce masque.

25. Procédé de réalisation selon l'une  
20 quelconque des revendications 18 à 24, caractérisé en ce que le réseau est obtenu par introduction d'espèces ioniques à travers un masque permettant l'obtention du cœur et/ou de la gaine ou par un masque spécifique.

25 26. Procédé de réalisation selon l'une quelconque des revendications 18 à 24, caractérisé en ce que le réseau est obtenu par des échauffements locaux.

30 27. Procédé de réalisation selon l'une quelconque des revendications 18 à 24, caractérisé en

ce que le réseau est obtenu par gravure du substrat au voisinage des zones d'interaction.

28. Procédé de réalisation selon l'une  
5 quelconque des revendications 20 à 27, caractérisé en ce que l'enterrage de la première espèce ionique est réalisée au moins partiellement avant l'étape b) et l'enterrage de la première et de la deuxième espèces ioniques est réalisée après l'étape b).

10

29. Procédé de réalisation selon l'une  
quelconque des revendications 20 à 28, caractérisé en ce que l'enterrage de la première espèce ionique et l'enterrage de la deuxième espèce ionique sont réalisés  
15 après l'étape b).

30. Procédé de réalisation selon l'une  
quelconque des revendications 20 à 29, caractérisé en ce qu'au moins une partie de l'enterrage est réalisée  
20 avec l'application d'un champ électrique.

31. Procédé de réalisation selon l'une  
quelconque des revendications 20 à 30, caractérisé en ce qu'au moins une partie de l'enterrage est réalisée  
25 par une rediffusion dans un bain ionique.

32. Procédé de réalisation selon l'une  
quelconque des revendications 20 à 31, caractérisé en ce que tout ou partie de l'enterrage est réalisé par un  
30 dépôt d'au moins une couche sur la surface du substrat.

33. Procédé de réalisation selon l'une  
quelconque des revendications 20 à 32, caractérisé en  
ce que l'introduction de la première espèce ionique  
et/ou l'introduction de la deuxième espèce ionique sont  
5 réalisées avec l'application d'un champ électrique.

1 / 8

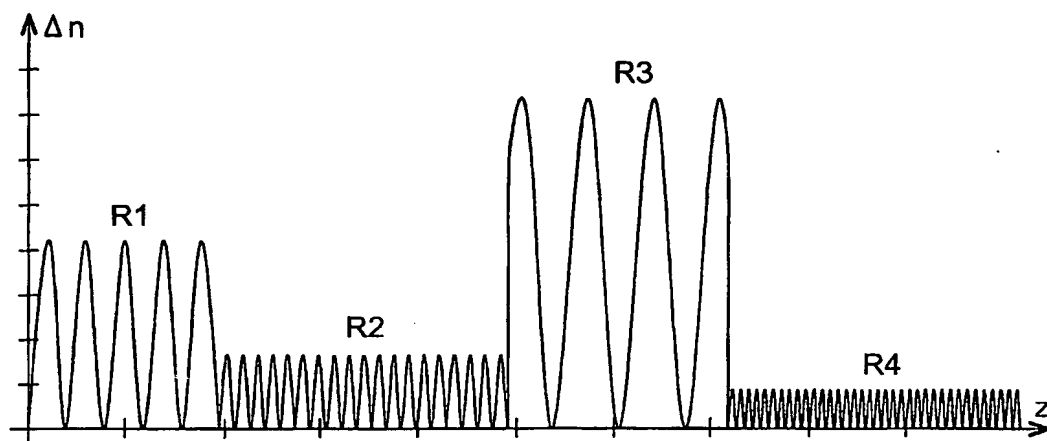


FIG. 1

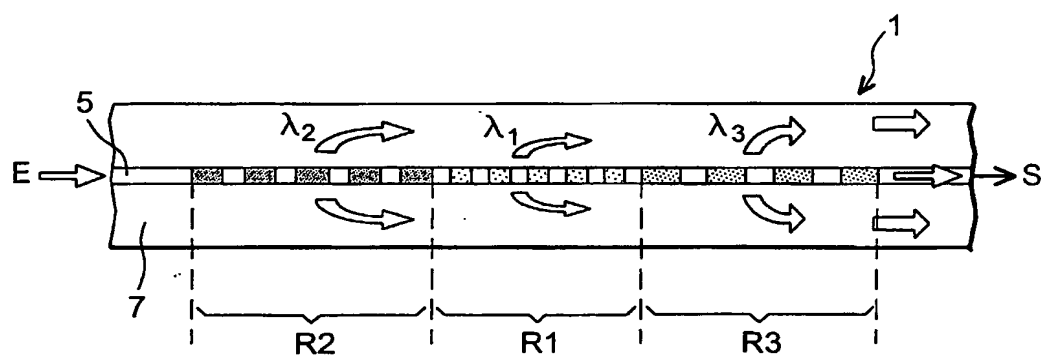


FIG. 2

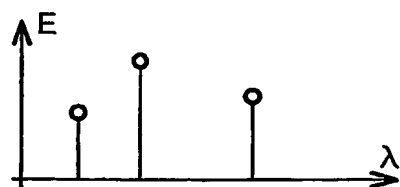


FIG. 3a

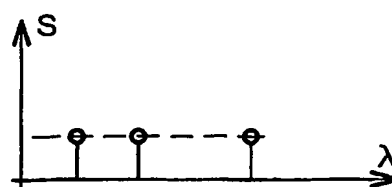


FIG. 3b

2 / 8

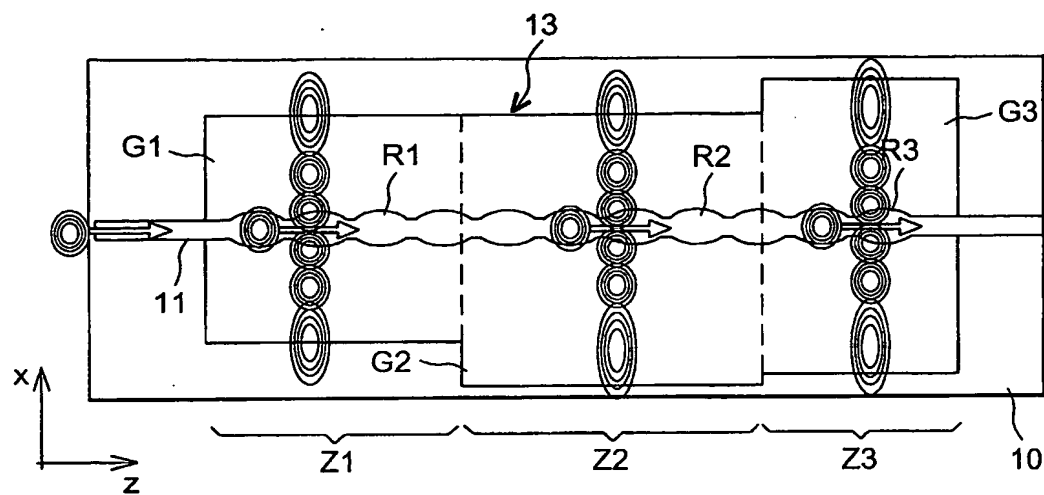


FIG. 4

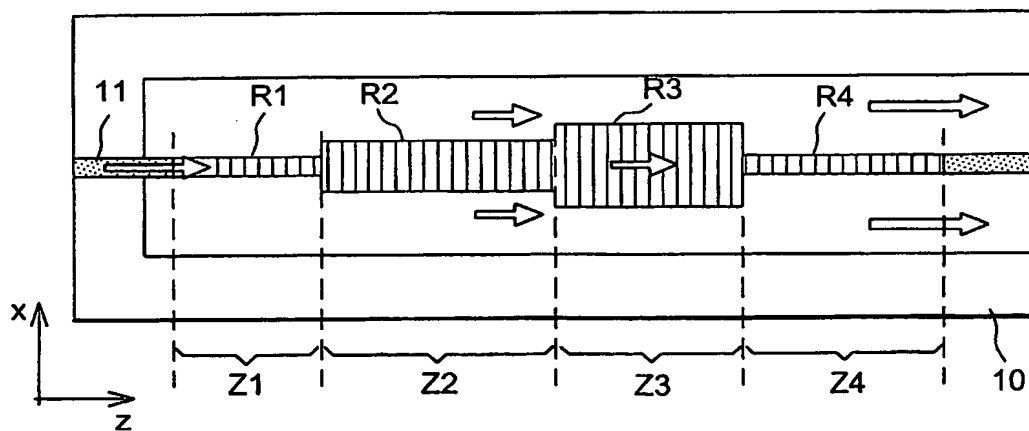


FIG. 6

3 / 8

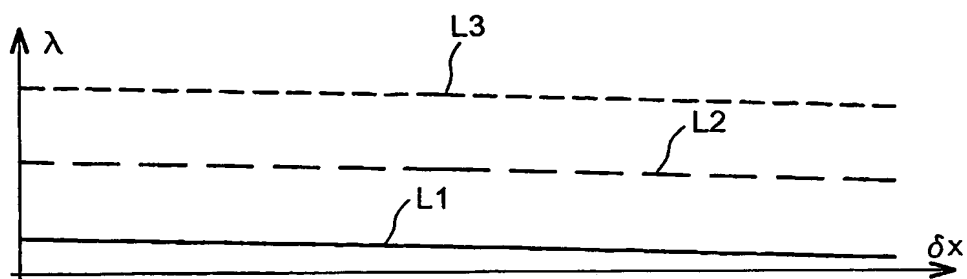


FIG. 5a

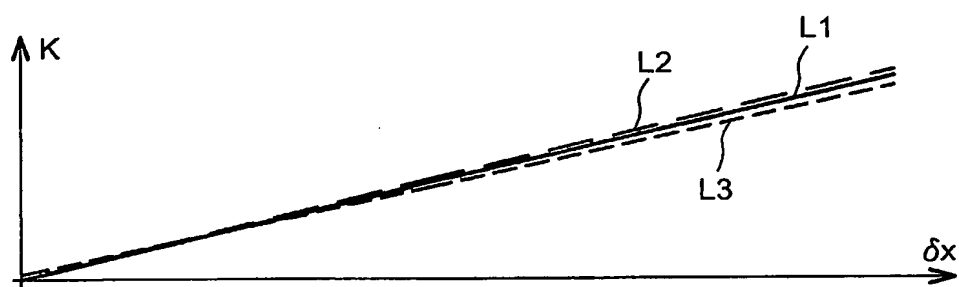


FIG. 5b

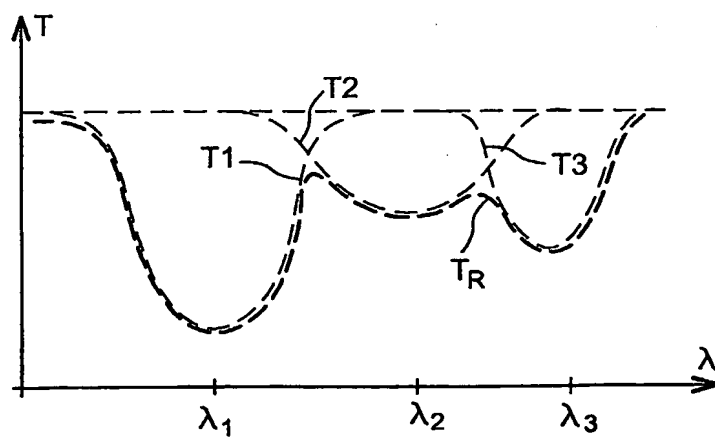


FIG. 5c

4 / 8

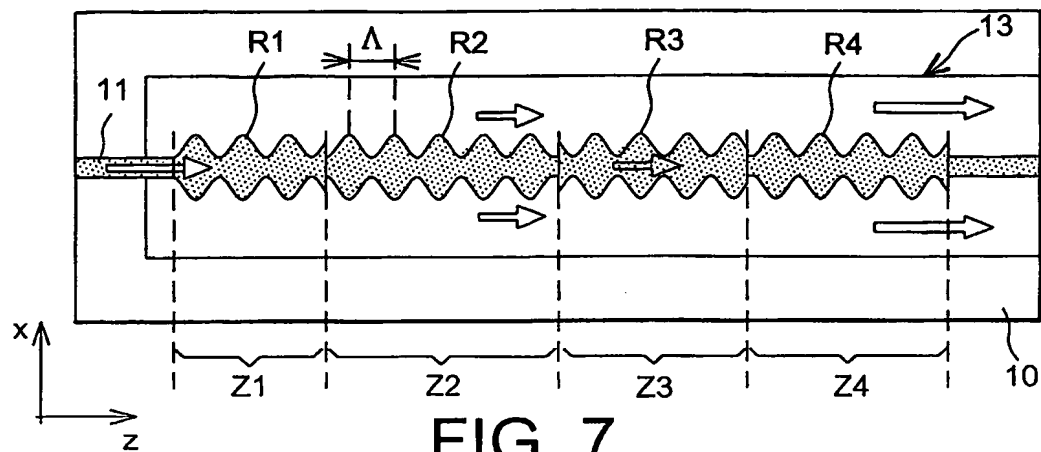


FIG. 7

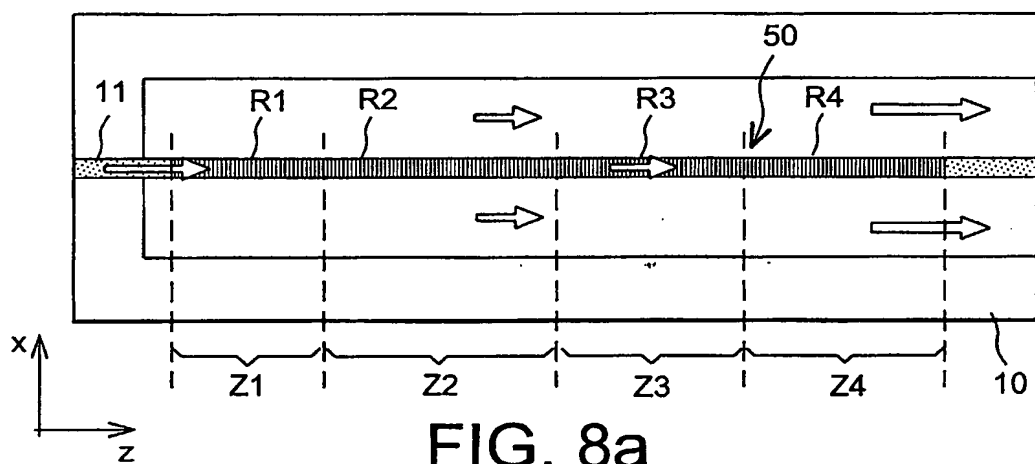


FIG. 8a

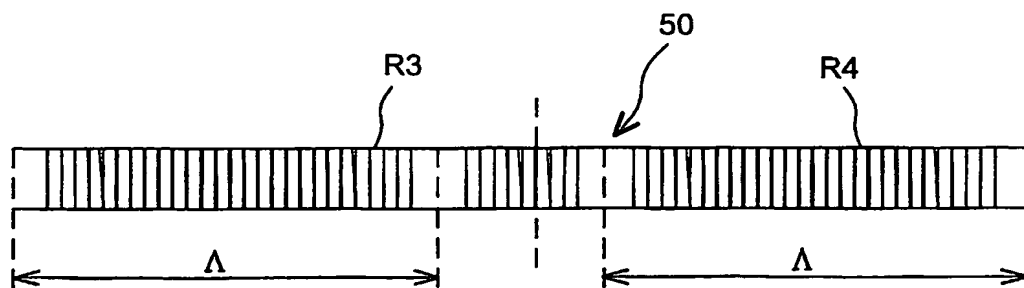


FIG. 8b

5 / 8

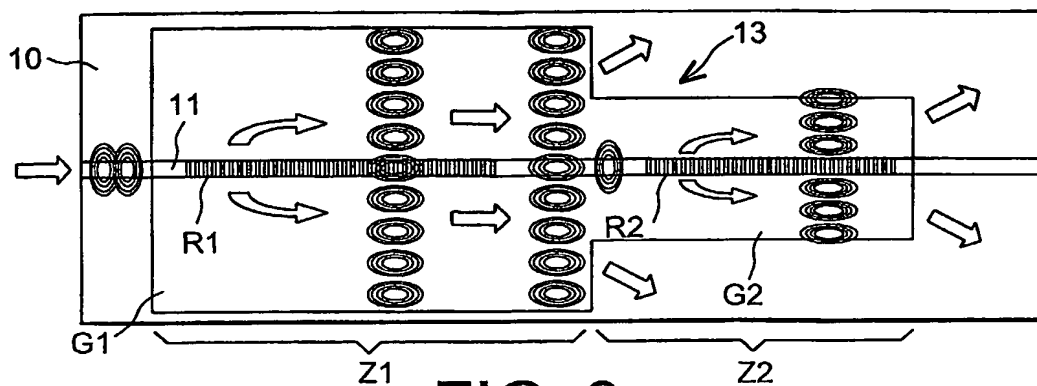


FIG. 9a

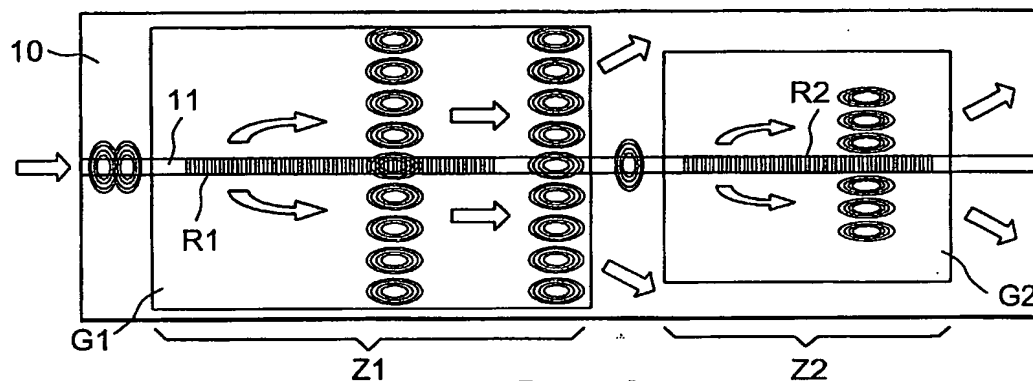


FIG. 9b

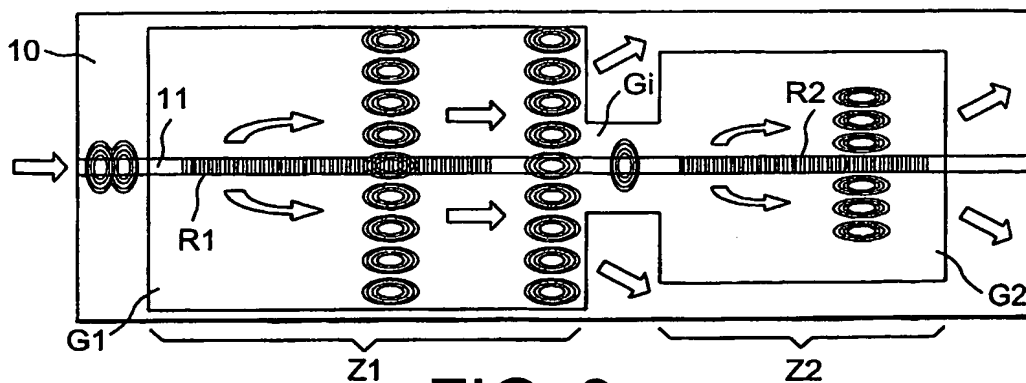


FIG. 9c



6 / 8

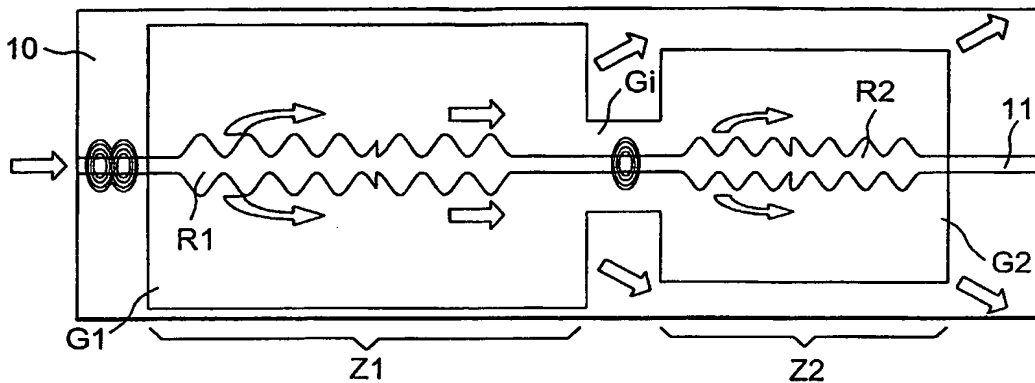


FIG. 9d

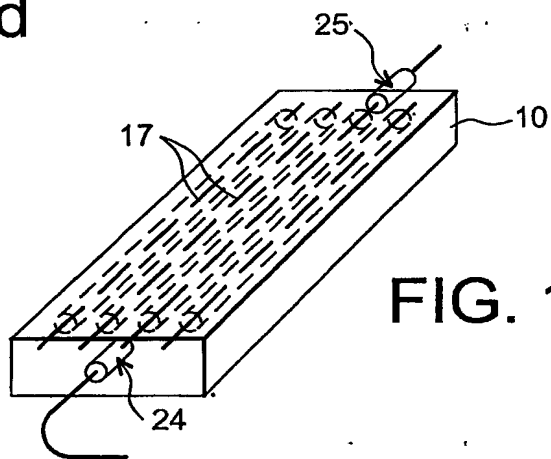


FIG. 10

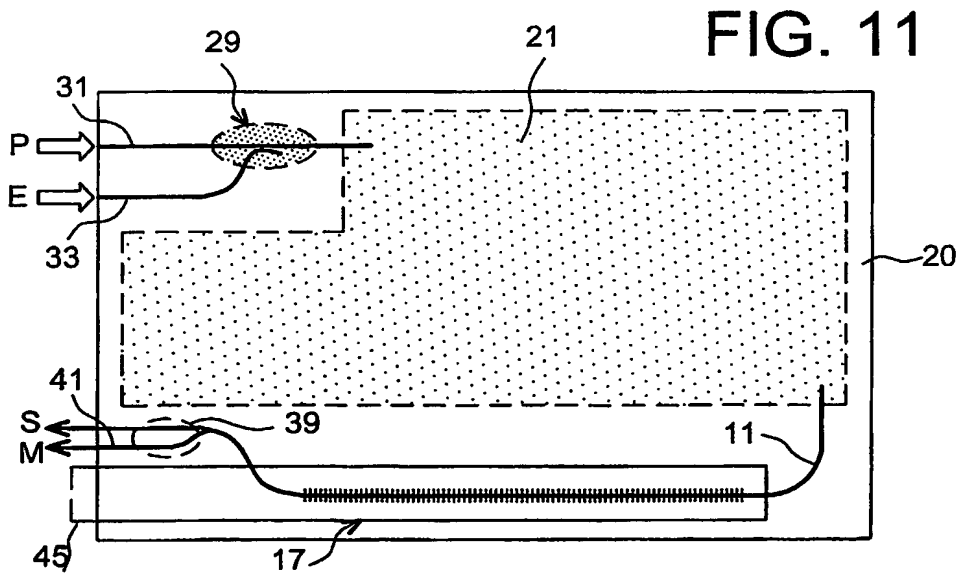


FIG. 11

7 / 8

FIG. 12a

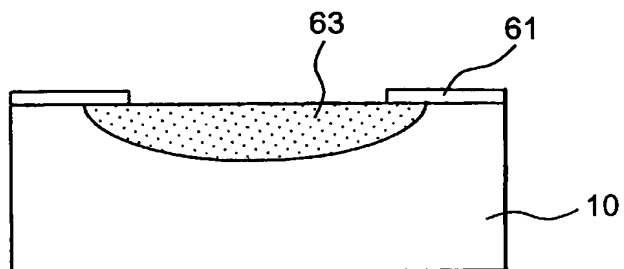


FIG. 12b

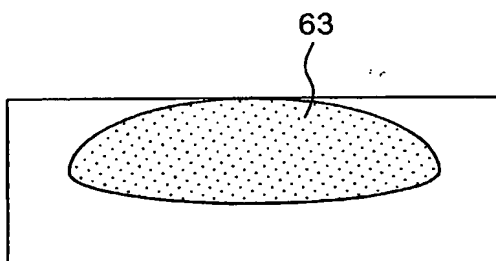


FIG. 12c

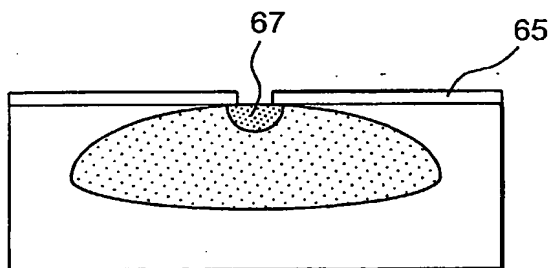
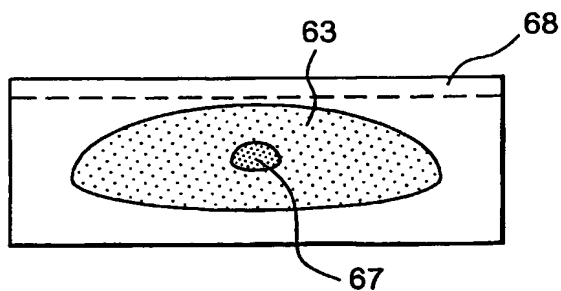


FIG. 12d



8 / 8

FIG. 13a

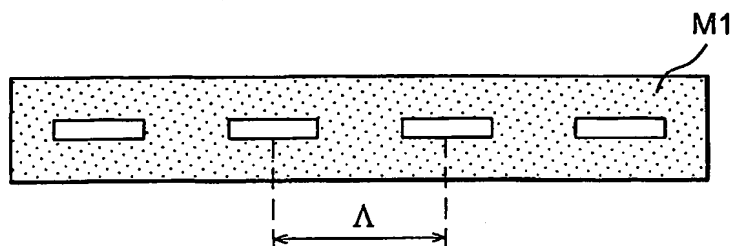


FIG. 13b

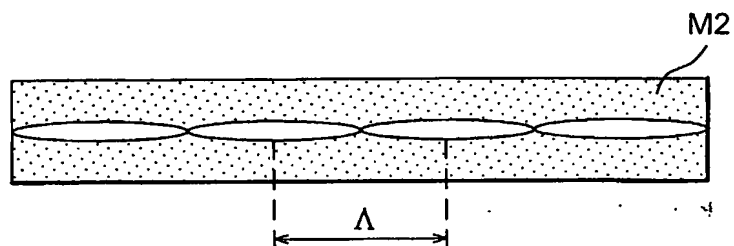


FIG. 13c

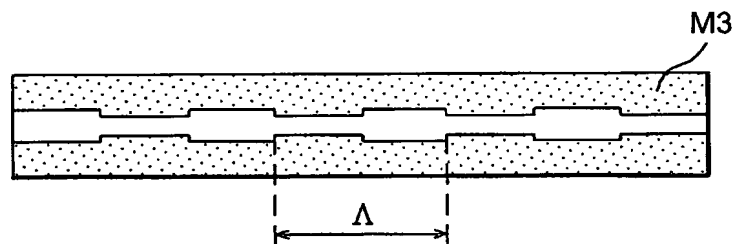


FIG. 13d

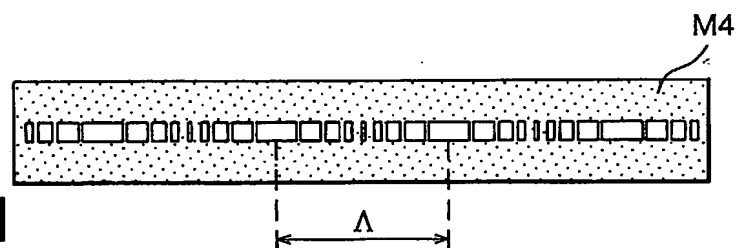
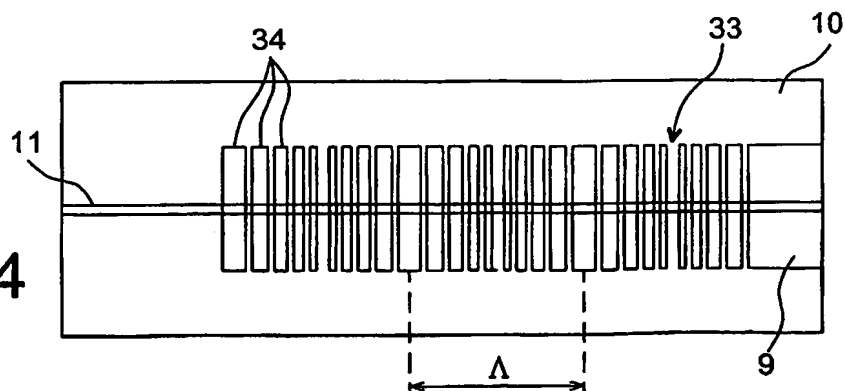


FIG. 14



(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITE DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international



(43) Date de la publication internationale  
8 juillet 2004 (08.07.2004)

PCT

(10) Numéro de publication internationale  
WO 2004/057388 A3

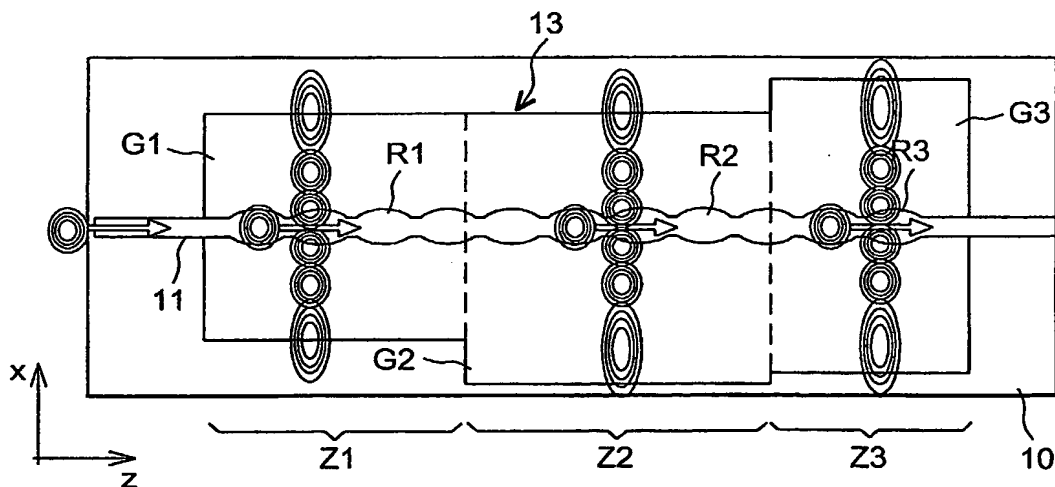
- (51) Classification internationale des brevets<sup>7</sup> : G02B 6/12 (72) Inventeur; et  
(75) Inventeur/Déposant (pour US seulement) : MAR-  
(21) Numéro de la demande internationale : TINEZ, Christophe [FR/FR]; 5, rue André Maginot,  
PCT/FR2003/050175 F-38000 GRENOBLE (FR).  
(22) Date de dépôt international : (74) Mandataire : POULIN, Gérard; c/o BREVALEX, 3 rue  
15 décembre 2003 (15.12.2003) du Docteur Lancereaux, F-75008 PARIS (FR).  
(25) Langue de dépôt : français (81) État désigné (national) : US.  
(26) Langue de publication : français (84) États désignés (régional) : brevet européen (AT, BE, BG,  
CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE,  
IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).  
(30) Données relatives à la priorité :  
02 15919 16 décembre 2002 (16.12.2002) FR Publiée :  
— avec rapport de recherche internationale  
— avant l'expiration du délai prévu pour la modification des  
revendications, sera republiée si des modifications sont re-  
çues

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : TEEM  
PHOTONICS [FR/FR]; Miniparc la Taillat, 61 chemin du  
Vieux Chêne, ZIRST, F-38240 MEYLAN (FR).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: INTEGRATED OPTICS FILTERING COMPONENT COMPRISING AN OPTICAL CLADDING AND METHOD  
FOR MAKING SAME

(54) Titre : COMPOSANT DE FILTRAGE EN OPTIQUE INTEGREE COMPRENANT UNE GAINÉ OPTIQUE AINSI QUE  
SON PROCEDE DE REALISATION



(57) Abstract: The invention concerns an integrated optics filtering component comprising in a substrate (10) at least one filtering assembly including an optical guide core (11), an optical cladding (13) independent of the core and at least two elementary interaction zones in series (Z1, Z2, Z3), each elementary interaction zone having at least one structural parameter different from that or those whereto it is adjacent, each elementary interaction zone being defined by one substrate zone including an elementary grating (R1, R2, R3), at least one portion of the cladding called elementary cladding (G1, G2, G3) enclosing at least one core portion, called elementary core, the refractive index of each elementary cladding being different from the substrate refractive index and lower than the core refractive index, the different elementary gratings of a filtering assembly forming one grating.

[Suite sur la page suivante]

WO 2004/057388 A3



(88) Date de publication du rapport de recherche

internationale:

12 août 2004

*En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.*

---

(57) Abrégé : L'invention concerne un composant de filtrage en optique intégrée comportant dans un substrat (10) au moins un ensemble de filtrage comprenant un cœur de guide optique (11), une gaine optique (13) indépendante du cœur et au moins deux zones d'interaction élémentaires en série (Z1, Z2, Z3), chaque zone d'interaction élémentaire présentant au moins un paramètre structurel différent de celui ou de ceux auxquels elle est adjacente, chaque zone d'interaction élémentaire étant définie par une zone du substrat comportant un réseau élémentaire (R1, R2, R3), au moins une portion de la gaine dite gaine élémentaire (G1, G2, G3) entourant au moins une portion du cœur, dite caquer élémentaire, l'indice de réfraction de chaque gaine élémentaire étant différent de l'indice de réfraction du substrat et inférieur à l'indice de réfraction du cœur au moins dans la partie de la gaine élémentaire voisine du cœur élémentaire, les différents réseaux élémentaires d'un ensemble de filtrage formant un réseau.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

PCT/FR 03/50175

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 7 G02B6/12

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G02B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

WPI Data, PAJ, EPO-Internal

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 459 799 A (WEBER JEAN-PIERRE) 17 October 1995 (1995-10-17)	1,3-6
A	abstract; figures 1,6,7 column 4, line 59 -column 5, line 34	18
A	US 5 699 378 A (ROBERTSON MICHAEL J ET AL) 16 December 1997 (1997-12-16) abstract; figures 1,4A, column 2, line 26 - line 33 column 3, line 29 - line 40 column 5, line 64 -column 7, line 18; claim 1	1,18
A	EP 0 955 558 A (IMEC INTER UNI MICRO ELECTR ;UNIV GENT (BE); MARCONI ELECTRONIC SY) 10 November 1999 (1999-11-10) abstract; claims; figure 1	1,18

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

14 June 2004

Date of mailing of the international search report

21/06/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Hylla, W

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

PCT/FR 03/50175

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5459799	A	17-10-1995	US 5341443 A	23-08-1994
			CA 2101411 A1	15-02-1994
			DE 4327102 A1	17-02-1994
			FR 2694816 A1	18-02-1994
			GB 2269679 A , B	16-02-1994
			JP 6160655 A	07-06-1994
			SE 510040 C2	12-04-1999
			SE 9302543 A	15-02-1994
US 5699378	A	16-12-1997	DE 69612104 D1	19-04-2001
			DE 69612104 T2	20-09-2001
			EP 0853831 A1	22-07-1998
			WO 9714201 A1	17-04-1997
			JP 2000510602 T	15-08-2000
			US 6198863 B1	06-03-2001
EP 0955558	A	10-11-1999	EP 0955558 A2	10-11-1999
			GB 2337135 A , B	10-11-1999
			US 6345135 B1	05-02-2002

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

PCT/FR 03/50175

## A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE

CIB 7 602B6/12

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

## B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 602B

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

WPI Data, PAJ, EPO-Internal

## C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	US 5 459 799 A (WEBER JEAN-PIERRE) 17 octobre 1995 (1995-10-17)	1,3-6
A	abrégé; figures 1,6,7 colonne 4, ligne 59 -colonne 5, ligne 34	18
A	US 5 699 378 A (ROBERTSON MICHAEL J ET AL) 16 décembre 1997 (1997-12-16) abrégé; figures 1,4A, colonne 2, ligne 26 - ligne 33 colonne 3, ligne 29 - ligne 40 colonne 5, ligne 64 -colonne 7, ligne 18; revendication 1	1,18
A	EP 0 955 558 A (IMEC INTER UNI MICRO ELECTR ;UNIV GENT (BE); MARCONI ELECTRONIC SY) 10 novembre 1999 (1999-11-10) abrégé; revendications; figure 1	1,18

☐ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

### \* Catégories spéciales de documents cités:

- \*A\* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- \*E\* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- \*L\* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- \*O\* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- \*P\* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- \*T\* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- \*X\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- \*Y\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- \*A\* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

14 juin 2004

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

21/06/2004

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale  
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentiaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Hylla, W



# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

PCT/FR 03/50175

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 5459799 A	17-10-1995	US 5341443 A	23-08-1994
		CA 2101411 A1	15-02-1994
		DE 4327102 A1	17-02-1994
		FR 2694816 A1	18-02-1994
		GB 2269679 A ,B	16-02-1994
		JP 6160655 A	07-06-1994
		SE 510040 C2	12-04-1999
		SE 9302543 A	15-02-1994
US 5699378 A	16-12-1997	DE 69612104 D1	19-04-2001
		DE 69612104 T2	20-09-2001
		EP 0853831 A1	22-07-1998
		WO 9714201 A1	17-04-1997
		JP 2000510602 T	15-08-2000
		US 6198863 B1	06-03-2001
EP 0955558 A	10-11-1999	EP 0955558 A2	10-11-1999
		GB 2337135 A ,B	10-11-1999
		US 6345135 B1	05-02-2002